

## ОПТИМИЗАЦИЯ УЗЛА ДРОБЛЕНИЯ ПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА №4 АКТЮБИНСКОГО ЗАВОДА ФЕРРОСПЛАВОВ

ТАЙКЕНОВ Ж.А. , ШАБАНОВ Е.Ж. , ЖУМАГАЛИЕВ Е.У. , КУАНЫШЕВ М.К. 

\*Тайкенов Жасулан Атагулович – Магистрант, Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, г. Ақтөбе, Қазақстан

E-mail: [Zhassulan.Taikenov@erg.kz](mailto:Zhassulan.Taikenov@erg.kz), <https://orcid.org/0009-0005-8195-925X>

Шабанов Ербол Жаксылықұлы - PhD, ассоциированный профессор, Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, г. Ақтөбе, Қазақстан

E-mail: [yshabanov@zhubanov.edu.kz](mailto:yshabanov@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-6902-1211>

Жумағалиев Ерлан Уланович - Кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, г. Ақтөбе, Қазақстан

E-mail: [yzhumagaliyev@zhubanov.edu.kz](mailto:yzhumagaliyev@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-2227-0661>

Куанышев Мурат Кулынтаевич - Кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, г. Ақтөбе, Қазақстан

E-mail: [mkuanyshev@zhubanov.edu.kz](mailto:mkuanyshev@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-8307-3675>

**Аннотация.** В работе рассмотрена проблема образования мелкой фракции при переработке высокоуглеродистого феррохрома (ВУФХ), являющаяся одним из ключевых факторов снижения эффективности ферросплавного производства. Показано, что формирование мелочи обусловлено как структурно-фазовыми особенностями слитков, включая их хрупкость и наличие внутренних дефектов, так и технологическими параметрами дробления. В ходе опытно-промышленных испытаний проведено дробление феррохрома марки ФХ-900 при зазорах 150, 170 и 190 мм с последующей оценкой выхода товарных и некондиционных фракций. Установлено, что увеличение зазора до 190 мм обеспечивает снижение выхода мелкой фракции (0-5 мм) до 23,14 %, что на 3,13 % ниже по сравнению с базовым режимом (220 мм). Дополнительно выявлено, что изменение параметров дробления влияет на характер разрушения материала и степень его переизмельчения. Определено, что оптимизация режима дробления способствует улучшению гранулометрического состава и повышению выхода кондиционного продукта. На основе полученных результатов обоснована технологическая рекомендация по снижению выхода отсевов за счёт оптимизации крупности питания и параметров дробления. Предложено решение поддерживать зазор разгрузочной щели на уровне 190 мм как наиболее рациональный режим работы оборудования. Полученные результаты имеют практическую значимость для повышения эффективности переработки ферросплавов, снижения потерь товарной продукции и повышения экономической эффективности производства.

**Ключевые слова:** высокоуглеродистый феррохром, дробление, зазор разгрузочной щели, гранулометрический состав, гидромолот, дробилка.

### Введение

Проблема образования мелочи актуальна для многих отраслей промышленности и особенно для горно-металлургической [1]. На текущий момент существуют различные подходы к объяснению данного вопроса, однако единого научно-технического обоснования подтвержденные обширными научными исследованиями и практиками не имеется. Актуальна проблема и для предприятий АО «ТНК «Казхром» при подготовке руд, производстве спецкокса и особенно при выплавке ферросплавов. Очевидно, наличие высокого содержания мелочи снижает эффективность производства и особенно важно, приводит к удорожанию финального продукта.

Высокоуглеродистый феррохром (далее ВУФХ) занимает ключевое место в мировом производстве ферросплавов, являясь основным источником хрома для нержавеющей и коррозионностойких сталей. Технология его получения основывается на высокотемпературном восстановлении хромсодержащих руд, в результате чего формируются сложные кристаллические структуры и многофазные эвтектики, зависящие от химического состава шихты, температуры плавления и скорости охлаждения расплава [2]. Эти параметры определяют морфологию карбидных колоний, и уровень внутренних напряжений, что, в свою

очередь, влияет на склонность слитка к разрушению и образованию мелочи при дальнейшей переработке [3-4].

Производство феррохрома включает несколько ключевых стадий: подготовку шихтовых материалов, процесс выплавки и последующую переработку полученного сплава – его дробление и классификацию по крупности [5]. Готовая продукция должна соответствовать установленным требованиям как по химическому составу, так и по гранулометрическому составу. При этом, если химические показатели, как правило, выдерживаются стабильно, то особое внимание уделяется увеличению выхода товарных фракций.

На предприятиях АО «ТНК «Казхром» основная часть фракционированного феррохрома производится путем механического дробления слитков в щековых дробилках с последующим разделением материала на вибрационных грохотах. Данный способ отличается высокой производительностью и технологической простотой, однако сопровождается образованием значительного количества мелкой некондиционной фракции (отсевов).

Установлено, что на образование отсевов существенно влияет размер исходных кусков феррохрома, подаваемых на дробление. В связи с этим предлагается оптимизировать процесс на дробильно-сортировочной линии (ДСЛ) плавильного цеха №4 за счет уменьшения крупности первичного дробления. Это может быть реализовано путем сокращения зазора разгрузочной щели щековой дробилки СМД-111. Предполагается, что такое решение позволит снизить эффект избыточного повторного дробления («пережёвывания») крупных кусков на последующих стадиях, обеспечив более рациональное соотношение между размером питания и параметрами дробилки, что в итоге приведет к уменьшению выхода отсевов. Дополнительно планируется оценить влияние изменения зазора на износостойкость дробильных плит.

Целью настоящей работы является исследование по оптимизации узла дробления ПЦ-4 Актюбинского завода ферросплавов путем уменьшения зазора разгрузочной щели дробилки СМД-111. Исходя из вышеизложенного, планируется подтвердить проведением опытно-промышленных испытаний (далее ОПИ) технологическую возможность снижения выхода отсевов ВУФХ путем изменения крупности исходного материала.

#### **Материалы и методы исследования**

Перед началом экспериментов проведено накопление феррохрома в объеме 1000 тонн марки ФХ-900. Накопление металла осуществлено на промежуточном складе МВ09 «Логистика №2 ПЦ-4» (рисунок 2а). Усредненный химический состав феррохрома представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав феррохрома

Cr	Si	C	S	P
66,9 %	0,83 %	8,78 %	0,01 %	0,03 %

После охлаждения слитков была выполнена их первичная переработка с применением мобильного гидромолота, в результате чего материал доводился до крупности 0-600 мм в соответствии с требованиями технологического регламента. (рисунок 1).



Рисунок 1. Процесс промежуточного дробления на столах

Как только были завершены процедуры первичного дробления (гидромолотом) перешли к регулировке разгрузочной щели дробилки СМД-111 (рисунок 2б). Параллельно проведена очистка всей цепочки дробильно-сортировочной линии №1 (ДСЛ-1) от остатков металла предыдущих партий ВУФХ.



Рисунок 2. Хранение исходных слитков ВУФХ (а) и регулировка зазора СМД-111 (б)

### Опыты по дроблению с зазором 150, 170 и 190 мм

Первый этап опытно-промышленных испытаний (далее ОПИ) осуществлялся при установке зазора разгрузочной щели дробилки СМД-111 на уровне 150 мм (рисунок 2б). После выполнения регулировки материал, предварительно обработанный мобильным гидромолотом до крупности не более 600 мм, подавался с закрома временного хранения Логистики №2 в приемный бункер дробилки с использованием ковшевого погрузчика (рисунок 3).



Рисунок 3. ВУФХ перед погрузкой в бункер дробилки СМД-111

Далее оператор с пульта управления запускал пластинчатый питатель и дозированно подавал ВУФХ в рабочую зону (зев) дробилки СМД-111. Продукт дробления с размером частиц 0-150 мм по наклонному конвейеру направлялся на грохот ГИТ-42, где осуществлялось его разделение по фракциям с последующим распределением по соответствующим закромам (0-10 мм, 10-50 мм, 50-150 мм). По мере накопления фракции 50-150 мм материал с помощью ковшевого погрузчика перемещался на подготовленную складскую площадку до достижения требуемого объема (рисунок 4). В процессе проведения испытаний также осуществлялся регулярный контроль параметров дробления: после переработки каждых 50 тонн материала проверялся фактический зазор разгрузочной щели дробилки СМД-111 на соответствие установленному значению.



Рисунок 4. Процесс накопления ВУФХ фракции 50-150 мм

### **Результаты и их обсуждение**

После накопления требуемого объема металла (не менее 200 т) была выполнена проверка параметров дробильного оборудования основной дробильно-сортировочной линии №2. При этом на стадии крупного дробления зазор разгрузочной щели был установлен на уровне 100 мм, тогда как на дробилках мелкого дробления величина выходной щели составляла 50 мм.

Далее феррохром заданной крупности с помощью ковшевого погрузчика подавался в приемный бункер основной линии переработки продукции. Из бункера материал поступал на дробильно-фракционирующее оборудование ДСЛ-2, где осуществлялись операции дополнительного дробления и отсева.

Полученные продукты направлялись в накопительные бункера соответствующих фракций. Затем металл фракций 0-5 мм, 5-15 мм и 10-50 мм посредством ленточных конвейеров транспортировался в отделение МВ-11, предназначенное для упаковки и отгрузки готовой продукции (рисунок 5). Каждая фракция выгружалась отдельно в автосамосвалы с последующим контролем массы путем взвешивания.



Рисунок 5. Участок упаковки и отгрузки готовой продукции

Результаты опытного дробления ВУФХ представлены в таблице 2. В последующем, в течение одного месяца, были реализованы этапы №2 и №3.

На втором этапе зазор разгрузочной щели дробилки СМД-111 был установлен на уровне 170 мм, тогда как на третьем этапе данный параметр увеличивался до 190 мм. При этом методика проведения работ на указанных этапах полностью соответствовала условиям первого этапа, включая операции дробления и классификации материала на основной дробильно-сортировочной линии ДСЛ-2. Полученные в ходе испытаний данные также были сведены в таблицу 2. По завершении опытно-промышленных испытаний дополнительно выполнено дробление по базовому варианту с установкой зазора разгрузочной щели СМД-111 на уровне 220 мм. Соответствующие показатели базового режима также приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты ОПИ с регулировкой крупности питания основных ДСЛ

Зазор СМД-111, мм	Общий вес готовых фракций, т	Фракция, мм					
		0-5		5-15		15-50	
		т	%	т	%	т	%
150	202,2	54,51	26,96	26,89	13,30	120,79	59,74
170	209,1	51,25	24,51	24,28	11,61	133,57	63,88
190	204,0	47,21	23,14	20,60	10,1	136,19	66,76
220	201,1	52,83	26,27	21,84	10,86	126,43	62,87

### Заклучение

1. Выполнены опытно-промышленные испытания по дроблению ВУФХ марки ФХ-900 с целью оптимизации крупности питания основной дробильно-сортировочной линии за счет изменения зазора разгрузочной щели дробилки СМД-111. По итогам проведенных работ установлено:

- при значении зазора 150 мм доля отсевов (фракция 0–5 мм) составила 26,96%, что на 0,69% выше по сравнению с базовым режимом (26,27%);

- при зазоре 170 мм выход отсевов снизился до 24,51%, что на 1,76% меньше относительно базового варианта;

- при зазоре 190 мм содержание отсевов составило 23,14%, что ниже базового уровня на 3,13%.

2. Контроль технического состояния дробящих плит СМД-111 в течение 14 суток работы при зазоре 190 мм показал отсутствие ускоренного износа, а также не выявил нарушений в работе оборудования и отклонений в процессе дробления и классификации ВУФХ.

С учетом полученных результатов целесообразно организовать подачу ВУФХ на основную линию ДСЛ-2 с крупностью 50-190 мм. Рекомендуется установить зазор разгрузочной щели дробилки СМД-111 на уровне 190 мм с последующим закреплением данного режима в технологической документации предприятия.

### Список литературы

1. Михайлов В.Г. Производство ферросплавов: учебное пособие. Липецк: ЛГТУ, 2011. 56 с.
2. Singh A., Tripathy S., Satpathy S. Microstructural evolution and solidification behavior of high-carbon ferrochrome. *Journal of Alloys and Compounds*, 2020, p 842-844.
3. Kumar V., Kumar P., Suri A. Effect of cooling rate on carbide morphology and fragmentation in Fe-Cr-C alloys. *Materials Characterization*, 2018, 139: p 320-330.
4. Daavittila J., Holappa L., Xiao Y. Formation mechanisms and morphology of carbides in high-carbon ferrochrome alloys. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 2006, 37(5): p 765-774.
5. Isagulov A. Saulebek Zh., Sagintayeva S., Makhambetov Y. Ferrochrome Smelting Using Chrome Raw Materials Pre-Reduced with Various Reducing Agents. *Metals* 2026, 16(3), 357.

### References

1. Mihajlov V.G. Proizvodstvo ferrosplavov: uchebnoe posobie. Lipeck: LGTU, 2011. 56 s.
2. Singh A., Tripathy S., Satpathy S. Microstructural evolution and solidification behavior of high-carbon ferrochrome. *Journal of Alloys and Compounds*, 2020, p 842-844.
3. Kumar V., Kumar P., Suri A. Effect of cooling rate on carbide morphology and fragmentation in Fe-Cr-C alloys. *Materials Characterization*, 2018, 139: p 320-330.
4. Daavittila J., Holappa L., Xiao Y. Formation mechanisms and morphology of carbides in high-carbon ferrochrome alloys. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 2006, 37(5): p 765-774.
5. Isagulov A. Saulebek Zh., Sagintayeva S., Makhambetov Y. Ferrochrome Smelting Using Chrome Raw Materials Pre-Reduced with Various Reducing Agents. *Metals* 2026, 16(3), 357.

Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетінің хабаршысы, №2 (84), маусым 2026  
Металлургиялық процестер мен технологиялар-Металлургические процессы и технологии-  
Metallurgical processes and technologies  
**АҚТӨБЕ ФЕРРОҚОРЫТПА ЗАУЫТЫНЫҢ №4 БАЛҚЫТУ ЦЕХЫНЫҢ ҰСАТУ  
ТОРАБЫНЫҢ ОҢТАЙЛАНДЫРЫЛУЫ**

**ТАЙКЕНОВ Ж.А.\*<sup>id</sup>, ШАБАНОВ Е.Ж.<sup>id</sup>, ЖУМАГАЛИЕВ Е.У.<sup>id</sup>, КУАНЫШЕВ М.К.<sup>id</sup>**

\***Тайкенов Жасулан Атагулович** - Магистрант Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

**E-mail:** [Zhassulan.Taikenov@erg.kz](mailto:Zhassulan.Taikenov@erg.kz), <https://orcid.org/0009-0005-8195-925X>

**Шабанов Ербол Жаксылықұлы** - PhD, қауымдастырылған профессор, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

**E-mail:** [yshabanov@zhubanov.edu.kz](mailto:yshabanov@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-6902-1211>

**Жумағалиев Ерлан Уланович** - Техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

**E-mail:** [yzhumagaliyev@zhubanov.edu.kz](mailto:yzhumagaliyev@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-2227-0661>

**Куанышев Мурат Кулынтаевич** - Техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

**E-mail:** [mkuanyshev@zhubanov.edu.kz](mailto:mkuanyshev@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-8307-3675>

**Андатпа.** Жұмыста жоғары көміртекті феррохромды (ЖКФХ) қайта өңдеу кезінде ұсақ фракцияның түзілу мәселесі қарастырылған, ол ферроқорытпа өндірісінің тиімділігін төмендететін негізгі факторлардың бірі болып табылады. Ұсақ фракцияның түзілуі құймалардың құрылымдық-фазалық ерекшеліктерімен, соның ішінде олардың морттылығы мен ішкі ақауларының болуымен, сондай-ақ ұсату технологиясының параметрлерімен байланысты екені көрсетілген. Тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар барысында ФХ-900 маркалы феррохром 150, 170 және 190 мм саңылауларда ұсатылып, кейіннен тауарлы және кондициялық емес фракциялардың шығымы бағаланды. Зерттеу нәтижелері бойынша саңылауды 190 мм-ге дейін ұлғайту ұсақ фракцияның (0-5 мм) шығымын 23,14 %-ға дейін төмендететіні анықталды, бұл базалық режиммен (220 мм) салыстырғанда 3,13 %-ға аз. Қосымша түрде ұсату параметрлерінің өзгеруі материалдың бұзылу сипатына және оның қайта ұсақталу дәрежесіне әсер ететіні анықталды. Ұсату режимін оңтайландыру гранулометриялық құрамды жақсартып, кондициялық өнім шығымын арттыруға мүмкіндік беретіні көрсетілді. Алынған нәтижелер негізінде қоректендіру ірілігін және ұсату параметрлерін оңтайландыру арқылы ұсақ қалдықтардың шығымын азайтуға бағытталған технологиялық ұсыныс негізделді. Жабдықтың ең тиімді жұмыс режимі ретінде разрядтық саңылауды 190 мм деңгейінде ұстау ұсынылады. Алынған нәтижелер ферроқорытпаларды қайта өңдеу тиімділігін арттыруға, тауарлық өнім шығындарын азайтуға және өндірістің экономикалық тиімділігін жоғарылатуға практикалық маңызға ие.

**Түйін сөздер:** жоғары көміртекті феррохром, ұсату, разрядтық саңылау, гранулометриялық құрам, гидробалға, ұсатқыш.

**OPTIMIZATION OF THE CRUSHING UNIT OF SMELTING SHOP NO. 4 AT THE  
AKTOBE FERROALLOY PLANT**

**TAIKENOV ZH.A.\*<sup>id</sup>, SHABANOV E.ZH.<sup>id</sup>, ZHUMAGALIEV E.U.<sup>id</sup>,  
KUANYSHEV M.K.<sup>id</sup>**

\***Taikenov Zhasulan Atagulovich** - Master's degree student, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan

**E-mail:** [Zhassulan.Taikenov@erg.kz](mailto:Zhassulan.Taikenov@erg.kz), <https://orcid.org/0009-0005-8195-925X>

**Shabanov Yerbol Zhaksylykovich** - PhD, associate professor, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan

**E-mail:** [yshabanov@zhubanov.edu.kz](mailto:yshabanov@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-6902-1211>

**Zhumagaliev Erlan Ulanovich** - Candidate of technical sciences, associate professor, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan

**E-mail:** [yzhumagaliyev@zhubanov.edu.kz](mailto:yzhumagaliyev@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-2227-0661>

**Kuanyshev Murat Kulyntaevich** - Candidate of technical sciences, associate professor, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan

**E-mail:** [mkuanyshev@zhubanov.edu.kz](mailto:mkuanyshev@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-8307-3675>

**Abstract.** The paper addresses the problem of fine fraction generation during the processing of high-carbon ferrochrome (HCFеCr), which is one of the key factors reducing the efficiency of ferroalloy production. It is shown that

the formation of fines is обусловлено both by the structural and phase characteristics of the ingots - including their brittleness and the presence of internal defects - and by the technological parameters of crushing. During pilot-scale industrial tests, ferrochrome of grade FKh-900 was crushed at discharge gap settings of 150, 170, and 190 mm, followed by an assessment of the yield of marketable and off-spec fractions. It was established that increasing the gap to 190 mm ensures a reduction in the yield of the fine fraction (0-5 mm) to 23.14%, which is 3.13% lower compared to the base mode (220 mm). Additionally, it was found that changes in crushing parameters affect the fracture behavior of the material and the degree of its overgrinding. It was determined that optimization of the crushing regime contributes to improving the particle size distribution and increasing the yield of the on-spec product.

Based on the obtained results, a technological recommendation is substantiated to reduce screenings by optimizing the feed size and crushing parameters. It is proposed to maintain the discharge gap at 190 mm as the most rational operating mode of the equipment. The results obtained have practical significance for improving the efficiency of ferroalloy processing, reducing losses of marketable products, and increasing the economic efficiency of production.

**Key words:** high-carbon ferrochrome, crushing, discharge gap, particle size distribution, hydraulic hammer, crusher.