

Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов,
металлургии и химической промышленности



Обзор рынка карбида кремния в СНГ

Москва
апрель, 2019

Демонстрационная версия

С условиями приобретения полной версии отчета можно ознакомиться на странице сайта по адресу: <http://www.infomine.ru/research/27/596>

Общее количество страниц: 63 стр.
Стоимость отчета – 48 000 рублей

Этот отчет был подготовлен экспертами ООО «ИГ «Инфомайн» исключительно в целях информации. Содержащаяся в настоящем отчете информация была получена из источников, которые, по мнению экспертов Инфомайн, являются надежными, однако Инфомайн не гарантирует точности и полноты информации для любых целей. Инфомайн приложил все возможные усилия, чтобы проверить достоверность имеющихся сведений, показателей и информации, содержащихся в исследовании, однако клиенту следует учитывать наличие неустраняемых сложностей в процессе получения информации, зачастую касающейся непрозрачных и закрытых коммерческих операций на рынке. Исследование может содержать данные и информацию, которые основаны на различных предположениях, некоторые из которых могут быть неточными или неполными в силу наличия изменяющихся и неопределенных событий и факторов. Кроме того, в ряде случаев из-за погрешности при округлении, различий в определениях, терминах и их толкованиях, а также использования большого числа источников, данные могут показаться противоречивыми. Инфомайн предпринял все меры для того, чтобы не допустить очевидных несоответствий, но некоторые из них могут сохраняться.

Информация, представленная в этом отчете, не должна быть истолкована, прямо или косвенно, как информация, содержащая рекомендации по инвестициям. Все мнения и оценки, содержащиеся в настоящем материале, отражают мнение авторов на день публикации и подлежат изменению без предупреждения. Инфомайн не проводит какую-либо последующую работу по обновлению, дополнению и изменению содержания исследования и проверке точности данных, содержащихся в нем. Инфомайн не несет ответственность за какие-либо убытки или ущерб, возникшие в результате использования любой третьей стороной информации, содержащейся в настоящем отчете, включая опубликованные мнения или заключения, а также последствия, вызванные неполнотой представленной информации.

Этот документ или любая его часть не может распространяться без письменного разрешения Инфомайн либо тиражироваться любыми способами. Заказчик имеет право проводить аудит (экспертизу) исследований рынков, полученных от Исполнителя только в компаниях, имеющих членство ассоциации промышленных маркетологов ПРОММАР (<http://www.prommar.ru>) или силами экспертно-сертификационного совета ассоциации ПРОММАР. В других случаях отправка исследований на аудит или экспертизу третьим лицам считается нарушением авторских прав.

Copyright © ООО «ИГ «Инфомайн».

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация.....	7
Введение	9
1. Технология производства карбида кремния, используемое в промышленности сырье	10
1.1. Технология производства карбида кремния	10
1.2. Требования к качеству карбида кремния	15
1.3. Сырье для производства карбида кремния	20
2. Производство карбида кремния в СНГ	21
2.1. Производство карбида кремния в СНГ в 2008-2018 гг.	21
2.2. Предприятия-производители карбида кремния в СНГ	23
ОАО «Волжский абразивный завод» (Россия).....	23
ОАО «Запорожский абразивный комбинат» (Украина).....	32
3. Внешнеторговые операции с карбидом кремния в СНГ	37
3.1. Внешнеторговые операции с карбидом кремния в России в 2008-2018 гг.	37
Экспорт карбида кремния.....	38
Импорт карбида кремния.....	39
3.2. Внешнеторговые операции с карбидом кремния на Украине в 2008-2018 гг.	42
Экспорт карбида кремния на Украине	43
Импорт карбида кремния на Украине.....	44
3.3. Внешнеторговые операции с карбидом кремния других стран СНГ в 2013-2018 гг.	45
4. Экспортно-импортные цены на карбид кремния в России.....	46
5. Потребление карбида кремния в СНГ	49
5.1. Баланс производства-потребления карбида кремния в России	49
5.2. Баланс производства-потребления карбида кремния на Украине.....	50
5.3. Отрасли потребления карбида кремния в России. Основные потребители.	51
6. Перспективы и прогноз развития рынка карбида кремния в России до 2025 г.	56
6.1. Текущее состояние и прогноз развития потребляющих отраслей	56
6.2. Прогноз развития рынка карбида кремния в России	60
Приложение. Адреса производителей и потребителей карбида кремния в СНГ.....	62

Список таблиц

- Таблица 1. Марки карбида кремния
- Таблица 2. Химический состав шлифматериалов из карбида кремния
- Таблица 3. Насыпная плотность шлифматериалов из карбида кремния
- Таблица 4. Показатели надежности шлифматериалов из карбида кремния
- Таблица 5. Зернистость шлифзерна и шлифпорошков (размеры в мкм)
- Таблица 6. Зернистость микрошлифпорошков и тонких микрошлифпорошков (размеры в мкм)
- Таблица 7. Объемы производства карбида кремния в России и на Украине в 2008-2018 гг., тыс. т
- Таблица 8. Гранулометрический и химический состав металлургических фракций карбида кремния ОАО «Волжский абразивный завод»
- Таблица 9. Гранулометрический и химический состав огнеупорных фракций карбида кремния ОАО «Волжский абразивный завод»
- Таблица 10. Насыпная плотность и химический состав абразивных материалов FERA F ОАО «Волжский абразивный завод»
- Таблица 11. Химический состав абразивных материалов FERA P ОАО «Волжский абразивный завод»
- Таблица 12. Поставки сырья для производства карбида кремния в ОАО «Волжский абразивный завод» по железной дороге в 2013-2018 гг., тыс. т
- Таблица 13. Поставки карбида кремния ОАО «Волжский абразивный завод» по железной дороге в 2013-2018 гг., т
- Таблица 14. Основные финансовые показатели ОАО «Волжский абразивный завод» в 2011-2018 гг.
- Таблица 15. Физико-химические показатели шлифматериалов карбида кремния ОАО «Запорожский абразивный комбинат»
- Таблица 16. Физико-химические показатели огнеупорных фракций карбида кремния ОАО «Запорожский абразивный комбинат»
- Таблица 17. Основные показатели деятельности ОАО «Запорожский абразивный комбинат» в 2010-2017 гг.
- Таблица 18. Объемы экспортных поставок карбида кремния из России по направлениям в 2013-2018 гг., т
- Таблица 19. Объемы импорта карбида кремния в Россию по направлениям в 2013-2018 гг., т
- Таблица 20. Основные импортеры карбида кремния в РФ в 2013-2018 гг., т
- Таблица 21. Объемы экспортных поставок карбида кремния из Украины по направлениям в 2013-2018 гг., т
- Таблица 22. Объемы импортных поставок карбида кремния на Украину в 2013-2018 гг., т
- Таблица 23. Объемы импортных поставок карбида кремния в Белоруссию в 2013-2018 гг., т
- Таблица 24. Объемы импортных поставок карбида кремния в прочие страны СНГ в 2013-2018 гг., т

- Таблица 25. Среднегодовые экспортные цены на карбид кремния в России по направлениям в 2013-2018 гг., \$/кг
- Таблица 26. Среднегодовые импортные цены на карбид кремния в России в 2013-2018 гг. (по направлениям), \$/кг
- Таблица 27. Баланс производства-потребления карбида кремния в России в 2008-2018 гг., тыс. т, %
- Таблица 28. Баланс производства-потребления карбида кремния на Украине в 2008-2018 гг., тыс. т, %
- Таблица 29. Основные потребители карбида кремния в России в 2013-2018 гг., тыс. т
- Таблица 30: Производство чугуна и стали в России в 2010-2018 гг., млн т
- Таблица 31. Динамика производства огнеупорных изделий предприятиями РФ в 2013-2017 гг., тыс. т

Список рисунков

- Рисунок 1. Устройство электропечи для производства карбида кремния и схема ее загрузки
- Рисунок 2. Динамика производства карбида кремния в СНГ в 2008-2018 гг., тыс. т
- Рисунок 3. Динамика производства и экспорта карбида кремния ОАО «Волжский абразивный завод» в 2008-2018 гг., тыс. т
- Рисунок 4. Динамика производства и экспорта карбида кремния ОАО «Запорожский абразивный комбинат» в 2008-2018 гг., тыс. т
- Рисунок 5. Динамика внешнеторговых операций России с карбидом кремния в 2008-2018 гг., тыс. т
- Рисунок 6. Изменение региональной структуры российского экспорта карбида кремния в 2013-2018 гг., %
- Рисунок 7. Региональная структура импорта карбида кремния в России в 2013-2018 гг., %
- Рисунок 8. Динамика внешнеторговых операций Украины с карбидом кремния в 2008-2018 гг., тыс. т
- Рисунок 9. Региональная структура экспорта карбида кремния на Украине в 2013-2018 гг., %
- Рисунок 10. Динамика среднегодовых экспортных и импортных цен на карбид кремния в России в 2008-2018 гг., \$/кг
- Рисунок 11. Динамика производства и потребления карбида кремния в России в 2008-2018 гг., тыс. т
- Рисунок 12. Отраслевая структура потребления карбида кремния в России, %
- Рисунок 13. Прогноз производства и потребления карбида кремния в России до 2025 г., тыс. т

Аннотация

Настоящий отчет является **первым изданием** исследования рынка карбида кремния в странах СНГ.

Цель исследования – анализ рынка карбида кремния России, Украины и прочих стран СНГ.

Объектом исследования является карбид кремния.

Данная работа является **кабинетным исследованием**. В качестве **источников информации** использовались данные Росстата, Федеральной таможенной службы РФ, статистики железнодорожных перевозок РФ, ГКС Украины; использованы данные базы UNdata, отраслевой и региональной прессы, годовых и квартальных отчетов эмитентов ценных бумаг, а также интернет-сайтов производителей карбида кремния.

Хронологические рамки исследования: 2008-2018 гг.; прогноз – 2019-2025 гг.

География исследования: Российская Федерация, Украина – комплексный подробный анализ рынка; прочие страны СНГ – общий ретроспективный анализ рынка.

Отчет состоит из 6 частей, содержит 63 страницы, в том числе 13 рисунков, 31 таблицу и 1 приложение.

В **первой главе** отчета описана технология производства карбида кремния и требования, предъявляемые к его качеству, а также приводятся данные об используемом в процессе производства сырье.

Вторая глава отчета посвящена производству карбида кремния в странах СНГ. В этой главе описано текущее состояние основных предприятий-производителей карбида кремния в России и на Украине, приведены количественные и качественные характеристики выпускаемой продукции на каждом предприятии, проанализированы данные об объемах и направлениях поставок в период 2013-2018 гг.

В **третьей главе** отчета приводятся данные о внешнеторговых операциях с карбидом кремния в РФ и на Украине в 2008-2018 гг. Приведены статистические данные об объемах внешнеторговых операций, региональная структура экспорта и импорта карбида кремния, данные об объемах и направлениях поставок основными экспортерами и импортерами. Также кратко рассмотрены внешнеторговые операции с карбидом кремния в прочих странах СНГ в 2013-2018 гг.

В **четвертой главе** отчета приводятся данные о динамике экспортно-импортных цен на карбид кремния в России в 2008-2018 гг.

В **пятой главе** отчета рассматривается потребление карбида кремния в России в 2008-2018 гг. В данном разделе приведен баланс производства-потребления этой продукции, оценена отраслевая структура потребления, рассмотрены основные потребители. Также в этой главе приведен баланс производства-потребления карбида кремния на Украине.

В **шестой главе** отчета приводится прогноз развития российского рынка карбида кремния на период до 2025 г., учитывающий текущее состояние и тенденции развития основных потребляющих отраслей.

В **приложении** приведена адресная и контактная информация производителей карбида кремния в СНГ, а также крупнейших российских потребителей.

Целевая аудитория исследования:

- участники рынка карбида кремния – производители, потребители, трейдеры;
- потенциальные инвесторы.

Предлагаемое исследование претендует на роль **справочного пособия** для служб маркетинга и специалистов, принимающих управленческие решения, работающих на рынках карбида кремния, а также абразивной и огнеупорной продукции.

Введение

Карбид кремния (карборунд) – бинарное неорганическое химическое соединение кремния с углеродом. Химическая формула SiC.

Природный карбид кремния – муассанит – можно найти только в ничтожно малых количествах в некоторых типах метеоритов и в месторождениях корунда и кимберлита. Практически любой карбид кремния, продаваемый в мире, в том числе и в виде муассанитового украшения, является синтетическим.

Порошок карбида кремния был впервые получен в 1893 году.

Карбид кремния является весьма инертным химическим веществом: практически не взаимодействует с большинством кислот, кроме ортофосфорной. Способен выдерживать нагревание на открытом воздухе до температур порядка 1500°C. Карбид кремния не плавится при любом известном давлении, но способен сублимировать при температурах свыше 1700°C.

Карбид кремния SiC из-за высокой твердости и превосходных абразивных свойств используется в основном для изготовления шлифматериалов. Его применяют также для изготовления карбидокремниевых огнеупоров на кремнезёмистой, алюмосиликатной и нитридной связках. По своим электрофизическим свойствам SiC занимает промежуточное положение между алмазом и кремнием. На основе карбида кремния получают нагреватели для печей сопротивления. В теплоэнергетике карборунд применяют в составе огнеупорных масс в качестве заполнителя для футеровки ошипованных экранов топок энергетических котлов. Плитками из карбида кремния футеруют гидроциклоны, которые применяют при обогащении железных, марганцевых и других руд. SiC используют для раскисления жидкой стали. Карбид кремния используют в составе композиционных жаростойких материалов.

В электрометаллургии кремния и кремнистых ферросплавов карборунд представляет интерес как промежуточный продукт в сложном физико-химическом процессе выплавки кремния технической чистоты, силикокальция, ферросилиция, силикоалюминия и др.

Различают черный и зеленый карбид кремния. Оба вида промышленного продукта получают в электрических печах, в которых рабочим сопротивлением является слой кокса, а также непосредственно шихта, состоящая из углеродистого восстановителя и кварцевого песка.

1. Технология производства карбида кремния, используемое в промышленности сырье

1.1. Технология производства карбида кремния

Процесс получения карбида кремния назван в честь его изобретателя американского химика Эдварда Гудрича Ачесона (Edward Goodrich Acheson) – процессом Ачесона.

Искусственный карбид кремния получают восстановлением SiO_2 углеродом. Процесс в общем виде может быть представлен реакцией:
$$\text{SiO}_2 + 3\text{C} = \text{SiC} + 2\text{CO}$$

В настоящее время выпускаются три вида карбида кремния: черный, зеленый и электротехнический, который гоже черного цвета. Технология производства всех видов SiC, в принципе, аналогична, с той лишь разницей, что при получении зеленого карбида кремния в шихту добавляют поваренную соль, а при синтезе электротехнического SiC его кристаллы легируют алюминием, что сказывается на его механических и электрических свойствах.

Современное промышленное производство карбида кремния для абразивной, огнеупорной и электротехнической промышленности осуществляется в электропечах сопротивления. В таких печах нагревателем служит центральный стержень (кern) из токопроводящего кускового углеграфитового материала, вокруг которого засыпают шихту, состоящую из близкой к стехиометрическому составу смеси кварцевого песка с массовой долей SiO_2 не менее 98,5 % и нефтяного кокса зольностью не более 1 %.

В мировой практике для получения карбида кремния применяются стационарные и подвижные электропечи.

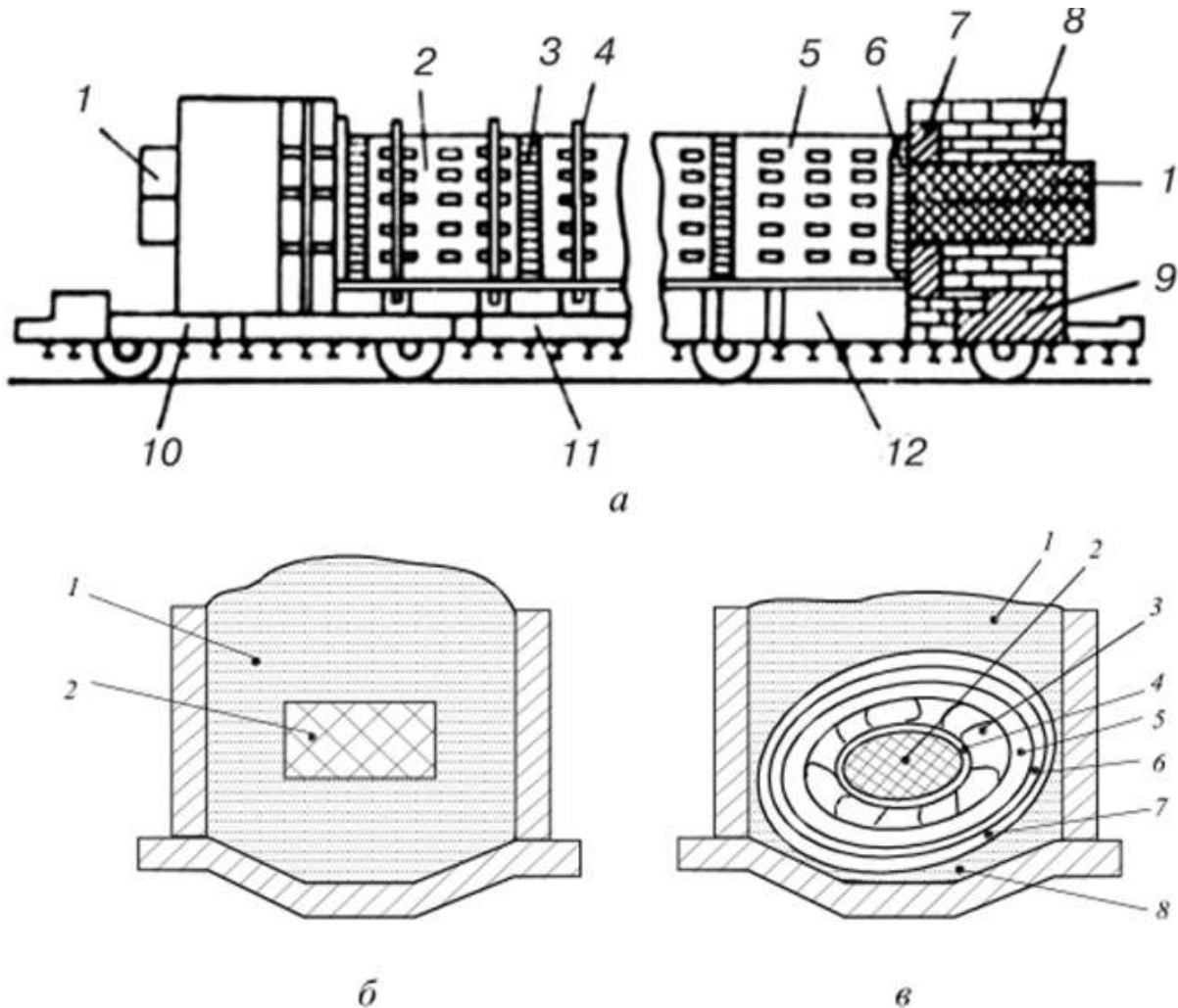
В России и странах СНГ к настоящему времени нашли широкое применение только подвижные электропечи мощностью 3-5 МВт. На рис. 1 показано устройство подвижной электропечи мощностью 3,5 кВА, применяемой в России.

Подвижная электропечь состоит из пода, выполненного из обычного шамотного кирпича, выложенного в гнездах чугунных кассет, и боковых и торцовых стенок. Боковые стенки печи представлены перфорированными щитами, установленными по краям пода и удерживаемыми в вертикальном положении стойками, которые входят в гнезда печной рамы. Между щитами выкладываются изолирующие слои из шамотного кирпича. По концам печной рамы установлены торцовые стенки из шамотного кирпича, в которые вмонтированы пакеты угольных электродов. На наружную часть электродов устанавливаются контактные плиты, к которым прикрепляются болтами шины, подводящие ток от печного трансформатора.

Печной трансформатор электропечи имеет установленную мощность 4000 кВ А и допустимую силу тока в обмотке высокого напряжения < 400 А. Напряжение с высокой стороны составляет 10,5-11,0 кВ, а с низкой - 408-206 В (17 ступеней измерения напряжения).

Нагревательным элементом печи служит керн - центральная часть загрузки печи из нефтяного (графитированного) кокса, который нагревается проходящим через него током.

Рисунок 1. Устройство электропечи для производства карбида кремния и схема ее загрузки



а - устройство электропечи подвижной: 1 - токоподводные электроды; 2 - боковой щит передней стенки; 3 - кирпичная кладка; 4 - стойка для крепления боковых щитов; 5 - боковой щит задней стенки; 6 - контактный материал из графитированных отсеков; 7 - защитные электроды; 8 - торцовая стенка из огнеупорного кирпича; 9 - бетонный корпус торца; 10, 12 - тележки концевые; 11 - тележка средняя; б, в - поперечное сечение электропечи до начала и после завершения процесса соответственно: 1 - исходная шихта; 2 - керн; 3 - слой графита; 4 - карбид кремния (основной продукт); 5 - аморф; 6 - сrostки; 7 - силоксикон; 8 - непрореагировавшая шихта

Источник: данные научно-технической литературы

Печи для производства карбида кремния работают по периодическому циклу, состоящему из загрузки печи, рабочего периода (когда печь находится

под током), периода охлаждения и периода разгрузки, во время которого производится не только разборка печи и рассортировка всех материалов, но также и необходимый ремонт для подготовки к следующему циклу.

Перед загрузкой печи шихтой производят ее подготовку, заключающуюся в зачистке пода и рамы печи, восстановлении изоляционных поясов, осмотре кассет, переборке подины с заменой дефектного кирпича, а также производят операции: зачистка рабочих электродов от карбида кремния, заделка выгоревших мест, выбоин и трещин в рабочих электродах графитовой пастой, ревизия и ремонт контактных участков и ошиновки, установка на печь боковых стенок и изоляционных блоков.

Загрузка печи шихтой производится в соответствии с технологической картой процесса на зеленый или черный карбид кремния.

При загрузке печи производится ряд последовательных операций: загрузка на подину печи шихты; загрузка печи до уровня керна; установка керновых щитов и укладка керна с уплотнением его в контактных зонах; загрузка шихты по бокам керна; извлечение керновых щитов; загрузка шихты сверху керна.

После загрузки печи ее продвигают в плавильную ячейку, подключают к трансформатору и начинается процесс синтеза карбида кремния. Спустя 15-20 минут после подключения электропечи начинают выделяться горючие газы, которые поджигают на поверхности шихты с помощью специального запальника не позднее, чем через 30 минут после включения печи.

Как правило, печь включают на напряжение, обеспечивающее начальную мощность не менее 70% от номинальной мощности, которая достигается не более чем за 1 час и поддерживается в течение всей кампании с точностью $\pm 5\%$.

Сопротивление печи за время кампании падает в 2-3 раза из-за увеличения сечения керна за счет разложения части SiC, прилегающего к керну.

В ходе процесса происходит усадка шихты, а поэтому для увеличения выхода продукта через 8-10 часов после включения печи ее догружают теплоизоляционной шихтой.

Продолжительность процесса определяется установленным расходом электроэнергии при токе с высокой стороны трансформатора $< 400\text{A}$ и напряжении низкой стороны трансформатора (240-290 В).

Рассмотрение продуктов синтеза SiC в различных зонах электропечи показывает, что крупность его кристаллов уменьшается от слоя, прилегающего к поверхности керна, где размер кристаллов 12-15 мм, к наружным слоям (аморфу), в которых размеры кристаллов SiC не превышают несколько микрон. Поэтому для получения крупных кристаллов SiC температура керна печи должна поддерживаться 2700-2800 °С.

После окончания процесса синтеза SiC печь охлаждается сначала на воздухе в течение 38-40 часов, а затем ее передвигают к месту горячей разборки. С помощью мостового крана снимают боковые щиты, затем удаляют кирпич с проемов печи и укладывают его в металлическую тару. Затем с

помощью специальных клещей снимают верхнюю корку спекшейся шихты и силикоксикона и извлекают металлические стойки. Снятую с печи шихту охлаждают водой и вывозят на свалку, а возвратную шихту направляют на подготовку для очередных кампаний. После такой разборки печь подается на участок водяного охлаждения, где блок поливается циклично «поливка-выпаривание» с продолжительностью циклов 45 и 15 минут соответственно. После четырех циклов печь выдерживают не менее 6 часов и затем производят сортировку блока карбида кремния.

Целью сортировки является отделение от куска карбида кремния старого kernового материала и аморфа и отбраковка некондиционного продукта.

Сортировку производят в следующем порядке: на печах, производящих черный карбид кремния, срубают сrostки и выбрасывают их в кубеля отходов, затем взламывают блок карбида кремния; куски блока SiC разворачивают на сортировочные столы, очищают от аморфа и остатков kernового материала и сбрасывают в кубеля для карбида кремния; kernовый материал извлекают из печи и загружают в отдельную емкость; затем взламывают нижнюю часть блока SiC и извлекают ее на сортировочные столы; очищают куски блока SiC от аморфа и сбрасывают в кубеля для карбида кремния; кубеля с отсортированным карбидом кремния в виде кусков (друз) размером 300 400 мм взвешивают и передают на переработку в цех производства шлифовальных материалов на участок крупного дробления.

После сортировки блока SiC из печи извлекают силикоксикон и неспросагировавшую шихту и, не разделяя их, направляют на переработку совместно со старой шихтой, полученной при разборке печей.

Карбид кремния, полученный в промышленных электропечах сопротивления, представляет собой кристаллы SiC, сросшиеся в так называемые друзы (куски), которые после разборки электропечи подвергаются дроблению и рассеvu по фракциям. Товарной продукцией карбида кремния на абразивных заводах является зерно SiC различной крупности.

Весь комплекс операций, связанных с измельчением и классификацией карбида кремния с целью получения шлифматериалов, представляет собой отдельный технологический процесс, в котором можно выделить следующие основные операции:

- 1) крупное, среднее и мелкое дробление;
- 2) грубое, среднее и тонкое измельчение;
- 3) обогащение шлифматериалов магнитной сепарацией для удаления примесей железа, накопленных в процессе измельчения карбида кремния;
- 4) химическое обогащение для удаления примесей кремния и оксида кремния SiO₂;
- 5) рассев абразивных порошков карбида кремния по фракциям;
- 6) гидравлическая классификация.