

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **037656**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2021.04.27**

(21) Номер заявки  
**201792150**

(22) Дата подачи заявки  
**2016.03.23**

(51) Int. Cl. **C21C 5/52 (2006.01)**  
**C22C 38/02 (2006.01)**  
**C22C 38/06 (2006.01)**  
**C21C 7/00 (2006.01)**

---

(54) **СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗО-КРЕМНИЙ-АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

---

(31) **15000931.4**

(32) **2015.03.30**

(33) **EP**

(43) **2018.01.31**

(86) **PCT/EP2016/000506**

(87) **WO 2016/155873 2016.10.06**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**МЕГАЛОЙ АГ (CN)**

(72) Изобретатель:  
**Школьник Владимир Сергеевич,  
Жарменов Абдуракул  
Алдашевич, Толымбеков Манат  
Жаксыбергенович, Байсаров  
Сайлубай Омарович, Назарбаев  
Нурсултан Абишевич (KZ)**

(74) Представитель:  
**Ловцов С.В., Левчук Д.В., Вилесов  
А.С., Коптева Т.В., Ясинский С.Я.  
(RU)**

(56) **WO-A1-9508005**  
**US-A-5634960**  
**US-A-3759695**  
**EP-A1-1122319**

(57) Предложен способ получения FeSiAl сплавов, в котором углеродистую породу с зольностью от >50% до <65% смешивают с кварцитом, железосодержащим материалом и древесной стружкой, при необходимости углем с высоким содержанием летучих веществ в заданном соотношении компонентов шихты, и гомогенизированный шихтовый материал загружают в плавильную печь для плавления FeSiAl сплава, причем загруженная углеродистая порода может иметь, в частности, следующий химический состав минеральной части (зола): Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 1,5-4,5%, SiO<sub>2</sub> - 55-65%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 25-35%, в частности 32-34%, CaO - 0,3-3%, MgO - 0,3-2%, TiO<sub>2</sub> - до 1,5%, S - >0,4%, в частности 0,01-0,06%, P - 0,01-0,05%.

**037656 B1**

**037656 B1**

Настоящее изобретение относится к способу получения железо-кремний-алюминиевых лигатур.

Ферросилиций представляет собой лигатуру, которая, в частности, используется для производства стали и чугуна, при необходимости вместе с другими материалами, такими как алюминий. Плотность и температура плавления ферросилиция сильно зависят от содержания кремния. Чем выше содержание кремния (мас.%), тем ниже его плотность. В общем, для легирования стальных сплавов используют стандартные сплавы ферросилиция, такие как FeSi 45, FeSi 65 и FeSi 75. Указанные лигатуры давно принадлежат к проверенным исходным материалам для восстановления и легирования стальных сплавов. Для соблюдения требуемого качества легированной или восстановленной стали еще один легирующий элемент - алюминий - добавляют в расплав.

В документе DE 2223974 B2 описан способ получения легирующего сплава для восстановления и легирования стали, в котором используют углеродистую породу с зольностью 40-50 мас.%, 15-25 мас.% летучих веществ, 15-25 мас.% связанного углерода и 2-6 мас.% серы, с теплотворной способностью 1,500-2,000 ккал/кг в виде исходного сырья для плавления его в углеродистый сплав, содержащий 25-50 мас.% Si, 10-40 мас.% алюминия, 2-10 мас.% кальция, 0,5-2,5 мас.% титана, остальное - железо, и с учетом технических требований к различным примесям, а также микропримесям ванадия и бора при необходимости.

В предшествующем уровне техники (DE 2853007 A1) известен способ получения кремнийсодержащих ферросплавов, который состоит из таблетирования смеси углесодержащего восстанавливающего средства и руды основного элемента получаемого сплава с добавлением кварцита, помещения шихтового материала в плавильную печь и затем непрерывного одностадийного восстановления элементов полученного сплава.

В документе RU 2251586 C2 раскрыт способ получения железо-кремний-алюминиевых сплавов при помощи углеродистой породы с 15-35% углерода в качестве содержащего кремний и алюминий материала с дополнительной загрузкой кокса и/или кварцита. Кроме того, проводят плавку алюминиево-кремниевый сплав с содержанием алюминия 5-35%.

В документе EP 2295614 B1 описан сплав для восстановления и легирования стали со следующим составом (мас.%):

Кремний	45 – 63
Алюминий	10 – 25
Кальций	1 – 10
Барий	1 – 10
Ванадий	0,3 – 5
Титан	1 – 10
Углерод	0,1 – 1
Остальное –	железо и примеси.

В документе EA 201100824 A1 описан способ плавки железо-кремний-алюминиевых сплавов. Углеродистую породу, кварцит, металллом и древесную стружку используют в качестве сырьевых материалов. Шихтовый материал просеивают до размера <20 мм, при этом 75% ее загружают в периферийные устройства печи.

В документе UA 6198 U описан способ получения комплексных раскислителей (восстановителей), в частности, железо-кремний-алюминиевых сплавов. Эти восстановители предпочтительно используют для спокойной стали и кипящей стали (для плавления стали). Сырьевым материалом для этого способа является металллом.

В документе CN 102839257 A раскрыт восстановитель на основе FeSiAl, используемый для производства стали и имеющий следующий состав (мас.%): 48-54% Al, 18-22% Si, 0,06-0,6% C, 0,006-0,05% S, 0,01-0,05% P, 0,17-0,6% Cu, остальное - Fe.

Аналогичный сплав описан в документе CN 102839292 A и имеет следующий состав (мас.%): 20-30% Al, 45-55% Si, 22-28% Fe. Следующие элементы могут присутствовать в качестве примесей: <0,008% C, <0,02% P, <0,02% S, <0,05% Cu, <0,005% Ti, <1,0% Mn, <0,05% N.

Известный уровень техники, отражающий способ получения FeSiAl, отличается высоким образованием карбида в шлаке, что отрицательно влияет на получение FeSiAl. В этом случае плавильная печь становится непригодной или должна быть очищена для следующей операции, что является очень дорогостоящим.

Задачей настоящего изобретения является обеспечение эффективного недорогого производства FeSiAl лигатуры из простых и дешевых сырьевых материалов без образования карбида в расплаве в процессе плавления.

Кроме того, будет предложена возможность заменить сплавы для восстановления и легирования стали, такие как ферросилиций и алюминий, которые ранее вносили отдельно.

Эта задача решается при помощи способа получения FeSiAl сплавов, в которых углеродистую по-

роду с зольностью от >50% до <65% смешивают с кварцитом, железосодержащим материалом и древесной стружкой, при необходимости с углем с высоким содержанием летучих веществ при заданном соотношении компонентов шихты, гомогенизированный шихтовый материал загружают в плавильную печь для плавления FeSiAl сплава, причем загруженная углеродистая порода может иметь, в частности, следующий химический состав минеральной части (золы):

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,5 – 4,5%
SiO <sub>2</sub>	55 – 65%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25 – 35%, в частности 32 – 34%
CaO	0,3 – 3%
MgO	0,3 – 2%
TiO <sub>2</sub>	до 1,5%
S	> 0 – 0,4%, в частности 0,01 – 0,06%
P	0,01 – 0,05%

Предпочтительные улучшения заявленного способа можно рассматривать в соответствующих зависимых пунктах формулы касательно способа.

Шихту следует смешивать и гомогенизировать предпочтительно вне плавильной печи, при этом следует загружать горкой в плавильную печь с электродами Содерберга, а затем плавить FeSiAl сплав.

В отличие от уровня техники, этот способ облегчает получение FeSiAl лигатур, используя дешевые сырьевые материалы (углеродистую породу, кварцит, железосодержащий материал), заменяя в то же время обычные сплавы ферросилиция и добавление алюминия при необходимости.

В отличие от известного уровня техники, заявленный способ позволяет избежать использования кокса. Путем рассчитанного добавления железосодержащего материала можно эффективно предотвращать нежелательное образование карбидов кремния в расплаве или значительно снижать его до минимума. Посредством итогового снижения образования карбидов получается монолитная плотная лигатура, которую можно использовать для раскисления и легирования стали, а также для восстановления магния.

Подготовка углеродистой породы проводится, например, в щековой или валковой дробилках, а также аналогичных мельницах. В частности, предпочтительно использовать размеры частиц от 20 до 80 мм, чтобы загружать в плавильную печь.

Под углеродистой породой специалисты понимают углесодержащую породу с зольностью 50-65%. Углеродистая порода представляет собой низкокалорийный высокзолый слой между угольными пластинами.

Углеродистая порода в различных залежах имеет различные качественные характеристики и состав. Для заявленного способа предпочтительно использовать углеродистую породу с высоким электрическим сопротивлением породы. Предпочтителен диапазон сопротивления от 10<sup>-6</sup> до 10<sup>-1</sup> Ом. Чем выше электрическое сопротивление породы, тем лучше это для контроля температуры печи.

Загруженная углеродистая порода с зольностью от >50% до <65% может иметь, в частности, следующий химический состав минеральной части (золы):

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,5 – 4,5%
SiO <sub>2</sub>	55 – 65%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25 – 35%
CaO	0,3 – 3%
MgO	0,3 – 2%
TiO <sub>2</sub>	до 1,5%
S	0,01 – 0,06%
P	0,01 – 0,05%

При необходимости можно добавлять кварцит или подобную углеродистую породу, измельченную в подходящей мельнице, тогда как предпочтительные размеры частиц составляют от 25 до 60 мм. Обычно кварцит состоит из 97-98% SiO<sub>2</sub> и 1-2% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Железная стружка, окалина от сгорания и железосодержащие оксиды в виде гематита и различных железных руд и концентратов могут служить в качестве железосодержащего материала. Предпочтительной является железная стружка.

Добавляют железную стружку с размерами 5-50 мм. Железная стружка может быть, по меньшей мере, частично окислена, хотя толщина оксидной пленки не должна превышать 0,7 мм. Железную стружку можно получать из обычных отходов металлообрабатывающих производств, например раз-

мольных машин, измельчителей и прочего. Таким образом, стружку можно рассматривать как железные фрагменты небольшого размера, предпочтительно с большой окисляющей поверхностью.

В случае необходимости некоторую часть древесной стружки или угля с высоким содержанием летучих веществ можно добавлять в шихту. Размер частиц предпочтительно составляет от 50 до 100 мм.

Аналогично древесную стружку с количеством летучих веществ >50% добавляют в первичный материал при необходимости.

Если вместо древесной стружки используют, например, уголь с высоким содержанием летучих веществ, он должен иметь более 40% летучих веществ.

Как уже упоминалось, кокс не используют в качестве первичного материала. Кокс имеет недостаточно летучих веществ или не имеет их совсем, и он не обеспечивает достаточную пористость шихты. В случае древесной стружки или угля с высоким содержанием летучих веществ это отличается, поскольку они имеют высокий процент летучих веществ.

Основные сырьевые материалы (углеродистая порода, кварцит и железосодержащий материал) с требуемыми размерами частиц хранятся отдельно в бункерах. Если возникнет необходимость добавить древесную стружку или уголь с высоким содержанием летучих веществ, их также хранят в отдельных бункерах.

На основании производительности плавильной печи сырье - углеродистую породу, кварцит и железную стружку и, при необходимости, древесную стружку или уголь с высоким содержанием летучих веществ - смешивают в определенных долях предпочтительно вне плавильной печи и загружают в плавильную печь, предпочтительно оборудованную электродами Содерберга.

Предпочтительный продукт должен представлять собой FeSiAl лигатуры со следующим составом (мас. %):

Si	40 – 85%
Al	от > 1% до < 40%
C	от > 0,001% до < 1,0%
Ti	макс. 2%
Ca	< 1,0%
P	< 0,05%
S	< 0,1%
Mn	макс. 0,7%
Fe	остальное

Оборудование, работающее согласно заявленному способу, состоит из плавильной печи по меньшей мере с одним электродом Содерберга, различных бункеров для хранения, по меньшей мере, углеродистой породы, содержащей оксиды Si и Al, кварцита, а также железосодержащих материалов, при необходимости бункеры для древесной стружки или угля с высоким содержанием летучих веществ, при необходимости установки для подготовки и измельчения, по меньшей мере, для углеродистой породы и при необходимости для кварцита, устройства смешивания и дозирования для шихты и подающие устройства для подачи, в частности, гомогенно смешанной шихты около электродов печи.

Предпочтительные улучшения заявленного оборудования можно рассматривать в соответствующих зависимых пунктах формулы.

Как уже было представлено, печь оборудована несколькими электродами Содерберга, таким образом, в частности, смешанный гомогенный шихтовый материал загружают с горкой вокруг электрода(ов). Здесь используют специальные загрузочные трубы, расположенные вокруг электрода(ов). Если желаемая коническая форма не достигается путем обычной подачи шихты в печь, используют специальные механические скребки.

Расплавленный FeSiAl материал можно предпочтительно использовать для раскисления и легирования стали.

Альтернативно также можно использовать другое качество FeSiAl в процессе производства магниевых сплавов, например в качестве восстанавливающего средства.

Кроме того, целесообразно использовать FeSiAl сплав для получения различных рафинированных сортов ферросплавов.

В табл. 1а показаны примеры расплавленных FeSiAl лигатур, которые можно использовать для получения стали.

Таблица 1а

Марка сплава	FeSiAl 45/15	FeSiAl 55/20	FeSiAl 65/15
Кремний Si	45%	55%	65%
Алюминий Al	15%	20%	15%
Железо Fe	38%	23%	18%
Титан Ti	1%	1%	1%
Удельная плотность	4,5 г/см <sup>3</sup>	4,0 г/см <sup>3</sup>	3,8 г/см <sup>3</sup>

\*) приблизительно 1 мас.% всех примесей Ca, P, S, Mn, Cr можно не учитывать  
В табл. 1б показаны примеры потребления кварцита и железа на 1 т FeSiAl сплава.

Таблица 1б

Количество углеродистой породы (тонны)	2,5 т	3,15 т	2,8 т
Зольность углеродистой породы	55% V =20 W=4	58% V =18 W=4	56% V =22 W=4
Количество кварцита (тонны)	0,5 т	0,42 т	0,9 т
Всего Fe (тонны)	0,315 т	0,158 т	0,14 т
включая Fe от электродов (тонны)	0,015 т	0,018 т	0,02 т
включая Fe стружку (тонны)	0,30 т	0,14 т	0,12 т

Общее процентное содержание железа состоит из доли железа из углеродистой породы, доли железа из железной стружки (железная стружка упоминается также как железосодержащий материал),

доли железа из плавления электродов.

Тонкий шлаковый слой, как правило, <3,5 г/см<sup>3</sup>, находится сверху расплава при производстве стали.

Добавление железной стружки имеет значительную техническую важность для обеспечения определенной плотности каждого FeSiAl сплава согласно табл. 1а. Соотношение общего Fe/Fe из железной стружки должно составлять от 1,1 до 1,35, более конкретно от 1,2 до 1,3.

Из-за вышеуказанной плотности FeSiAl сплавы (табл. 1а) не всплывают на поверхность сталеплавильного шлака, а скорее проникают через него, таким образом выполняя свою задачу, а именно раскисление или легирование стали.

Алюминий имеет плотность 2,2 г/см<sup>3</sup>. В традиционных комбинациях FeSi+Al может происходить так, что алюминий не проникает в объем стали и всплывает на поверхность сталеплавильного шлака. Такое не может происходить в FeSiAl сплаве, поскольку плотность повышается посредством добавления железной стружки.

В табл. 2а показаны примеры FeSiAl сплавов, которые можно использовать в производстве магния.

Таблица 2а

Тип сплава	FeSiAl 75/10	FeSiAl 80/7
Кремний Si	75%	80%
Алюминий Al	< 10%	< 10%
Железо Fe	13%	< 10%
Титан Ti	< 1%	< 1%
Удельная плотность	3,5 г/см <sup>3</sup>	3,3 г/см <sup>3</sup>

\*) приблизительно 1 мас.% всех примесей Ca, P, S, Mn, Cr можно не учитывать  
В табл. 2б показаны примеры потребления кварцита и железа на 3 т углеродистой породы.

Таблица 2b

Марка сплава	FeSi45Al15	FeSi55Al20
Количество углеродистой породы (тонны)	3,0 т	3,0 т
Зольность углеродистой породы V = 20 W = 4	55%	55%
Количество кварцита (тонны)	0,58 т	0,57 т
Всего Fe, включая	0,375 т	0,18 т
Fe из электродов (тонны)	0,015 т	0,012 т
Fe из железной стружки (тонны)	0,36 т	0,16 т

Применение железосодержащих материалов, более конкретно железной стружки в комбинации с углеродистой породой с высоким электрическим сопротивлением, более конкретно от  $10^{-6}$  до  $10^{-1}$  Ом, а также кварцитом, при необходимости с добавлением древесной стружки или угля с высоким содержанием летучих веществ, впервые дает шанс на значительное снижение образования карбидов кремния при плавлении FeSiAl сплавов. В этом случае можно использовать недорогие сырьевые материалы: углеродистую породу, кварцит и железную стружку, что представляет более рентабельную альтернативу традиционным сырьевым материалам FeSi+Al. В частности, целевое добавление железной стружки повышает плотность расплавленной FeSiAl лигатуры так, что можно достигать уже описанных преимуществ применения этой лигатуры при получении стали и магния.

В зависимости от используемых углеродистых пород они могут содержать до 1,5% титана, что не влияет на процесс раскисления и легирования стали или восстановления магния.

Оксид железа (FeO) на поверхности стружки разрушает карбид кремния (SiC) и предотвращает процесс образования карбида при получении FeSiAl.

Как уже упоминалось, иногда можно добавлять предварительно измеренное количество древесной стружки и альтернативно угля с высоким содержанием летучих веществ, таким образом эти материалы используют только в качестве азотатора для шихты для того, чтобы избежать образования окалина на горловине печи и для обеспечения равномерного выхода газов реакции.

В настоящее время на мировом рынке существуют, помимо прочего, стандартные сплавы FeSi65 и FeSi75, которые универсально применяют вместе с добавлением алюминия при получении стали или магния.

FeSiAl сплав, получаемый при помощи заявленного способа, замещает вышеуказанные сплавы FeSi75 (+Al) и FeSi65 (+Al).

В результате желаемого предотвращения образования карбида при плавлении FeSiAl получается плотный сплав в качестве лигатуры, который способствует получению лучшего качества соответствующих марок стали и магния.

В зависимости от последующих составов стали и магния содержание железной стружки составляет от 5 до 20% всей массы первичных материалов. Наилучшим способом является добавление железной стружки с большой поверхностью, таким образом длина спирали стружки может составлять до 50-60 мм.

Избыток железосодержащего материала снижает концентрацию основных элементов - алюминия и кремния, а его отсутствие приводит к нежелательному образованию карбида в расплаве, и процесс плавления лигатуры ухудшается.

Размер частиц шихты для углеродистой породы и кварцита должен составлять >20-80 мм.

В известном способе используют плавильную печь, оборудованную так называемыми электродами Содерберга (изготовленными из углерода и стальной оболочки). Углерод медленно реагирует с загруженной шихтой и частично выступает в качестве раскислителя. Железо в очень небольшом количестве переходит из оболочки электрода в расплав лигатуры.

При необходимости можно использовать окалину, гематит, железную руду и концентраты вместо железной стружки, но эти материалы не предотвращают образование карбида так эффективно, как железная стружка. Другое преимущество состоит в том, что применение объекта настоящего изобретения позволяет удовлетворять различные требования потребителей. Таким образом, например, при необходимости можно добавлять шихту и плавить другие первичные оксидные элементы или отдельно, или в комбинации, например, барий, ванадий, кальций и пр., в виде руд или подобного.

Таблица ниже показывает оксидные компоненты, которые можно добавлять при необходимости:

Ca	0,05 – 7,0%
Ba	1,5 – 15%
V	0,5 – 10%
Ti	0,05 – 10%
Cr	5 – 20%
Mn	5 – 20%

Примеры вариантов осуществления настоящего изобретения представлены и описаны следующим образом:

фиг. 1-3 представляют схему загрузки и обработки сырьевых материалов, углеродистой породы, кварцита и железной стружки;

фиг. 4 и 5 представляют схемы плавильной печи с несколькими электродами в различных видах.

На фиг. 1-3 показаны схемы загрузки и обработки сырьевых материалов, углеродистой породы, кварцита и железной стружки.

Фиг. 1 и 2 выполнены аналогично, таким образом, фиг. 1 представляет измельчение и просев углеродистой породы, а фиг. 2 - то же самое для кварцита.

Поставляемую углеродистую породу 1 подают в накопитель (бункер) 2, соединенный с вибрационным питателем 3 или аналогичным устройством. Через единственный указанный конвейер 4 углеродистая порода 1 поступает в дробилку 5, например щековую дробилку. Таким образом, измельченную углеродистую породу 1 просеивают через сито 6 до размеров частиц от 0 до 20 мм и >20-80 мм. Размер зерен >20-80 мм также используют в шихте.

На фиг. 2 представлена загрузка кварцита 7, который также подают в накопитель (бункер) 8. С вибрационного питателя 9 и конвейерной ленты 10 кварцит перемещают в установку 11 для дробления, другую щековую дробилку при необходимости, а затем просеивают через сито 12 до размеров частиц 0-25 мм, а также >25-60 мм. Размер >25-60 мм также используют для производства. Если кварцит 7 не измельчают/не просеивают на месте, его можно поставлять уже измельченным.

На дополнительных стадиях процесса соответствующую смесь (углеродистая порода >20-80 мм, кварцит >25-60 мм) подают посредством конвейеров в бункеры 13, 14 (фиг. 3).

Другой бункер 15 содержит также требуемый первичный материал - железную стружку 15а с размером от 5 до 100 мм, предпочтительно 5-50 мм. Посредством дозирующих тензиометрических весов 16, 17, 18 заданные доли углеродистой породы 1 (бункер 13), кварцита 7 (бункер 14), а также железной стружки 15а (бункер 15) перемещают на ленточный конвейер 19, при этом первичные материалы 1, 7, 15а гомогенизируются.

При необходимости в другой бункер В можно подавать древесную стружку Н, с размером 50-100 мм, которую смешивают с шихтой, состоящей из углеродистой породы 1, кварцита 7 и железной стружки 15а. Как описано ранее, можно использовать уголь с высоким содержанием летучих веществ вместо древесной стружки Н.

Посредством последующего транспортного оборудования/устройства 20, показанного здесь как ленточный конвейер, полученный гомогенизированный шихтовый материал, состоящий из углеродистой породы 1, кварцита 7 и железной стружки 15а (при необходимости древесной стружки Н), загружают в печь (здесь не показана). Если необходимо, дополнительные стадии гомогенизации, такие как шнековое смешение или подобное, можно проводить на пути к печи (которая здесь не показана).

На фиг. 4 и 5 представлено упрощенное исполнение плавильной печи 23, содержащей несколько электродов 21 Содерберга. Стрелки показывают направления выгрузки гомогенизированной шихты, состоящей из углеродистой породы 1, кварцита 7 и железной стружки 15а и при необходимости древесной стружки Н, загруженной только в указанной конической форме 22 вокруг электродов 21. Если коническую форму невозможно получить, специальные механические вспомогательные устройства, такие как скребки и пр., начинают работать для достижения этой конической формы.

Далее объект настоящего изобретения более подробно описан в примерах.

Например, следующий гомогенизированный шихтовый материал используют для получения FeSiAl 65/15.

А. Углеродистая порода, 3 т, зольность 50-55%, размер частиц >20-80 мм. Химический анализ золы:

SiO <sub>2</sub>	55 – 60%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,5 – 4,5%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32 – 34%
CaO	0,3 – 3,0%
TiO <sub>2</sub>	0,8 – 1,2%
S	0,02 – 0,04%
P	0,01 – 0,05%

В. Кварцит, 0,4-1,3 тонны, размер частиц 25-60 мм:

SiO <sub>2</sub>	> 97%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,0%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + CaO + MgO + P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≈ 2%

С. Железная стружка >0-0,5%.

1. Сырьевой материал.

Углеродистый сырьевой материал (высокозольный уголь с зольностью 45-50%, углеродистая порода с зольностью 55-65%) отличается различным содержанием золы, летучих веществ и влажностью. Например, одна партия углеродистого сырьевого материала может содержать комки с различной зольностью. Таким образом, очень важно перемешивать состав подаваемой партии углеродистого сырьевого материала. Этого можно достичь посредством его тщательного смешивания при измельчении и просеве, а также при его хранении.

Кварцит поставляют уже просеянным. Эффективный размер ячеек сита составляет 25-60 мм.

Железную стружку поставляют измельченной до размера ячеек сита 5-50 мм. Количество материала с размером больше 50-100 мм не должно превышать 10%. Железная стружка может быть окисленной. Толщина оксидной пленки не должна превышать 0,7 мм.

1.1. Измельчение и просев сырьевых материалов.

Установка для обработки шихты состоит из стандартного набора из щековой дробилки и сита - установки для измельчения и просева (CSU). Набор содержит накопитель (бункер) с вибрационным питателем, в который ковшовый погрузчик загружает углеродистое сырье. И сырьевые материалы перемещают в накопитель (бункер) из различных частей отвала. Из накопителя (бункера) сырьевые материалы перемещают пропорционально и равномерно в дробилку с расстоянием между щеками дробилки 100 мм. После измельчения углеродистое сырье перемещают на сито с размером ячейки 20 мм, где сырьевые материалы сортируют на два размера: 0-20 мм и >20-80 мм. Размер >20-80 мм является эффективным размером, необходимым для получения и хранения.

1.2. Хранение углеродистого сырья.

После измельчения эффективный размер углеродистого сырьевого материала хранят ровными слоями на всей определенной поверхности. Это достигается путем использования проходного конвейера с распределительным устройством или непосредственно ковшовым погрузчиком. Таким образом, получают штабель из 3-4 слоев углеродистого сырья. Подачу углеродистого сырья во взвешивающий накопитель (бункер) проводят с конца штабеля, в то время как слои смешиваются.

Таким образом смешивание и перемешивание партии сырьевого материала проводят при измельчении, образовании штабеля и загрузки углеродистого сырья во взвешивающий накопитель (бункер).

1.3. Взвешивание сырьевых материалов.

Взвешивание проводят при помощи обычных установок дозирования, состоящих из 20-60 м<sup>3</sup> распределяющего накопителя (бункера), вибрационного питателя, тензометрических весов ленточного или бункерного типа, реверсивного ленточного конвейера. Должны быть по меньшей мере три установки дозирования для углеродистого сырья, 1-2 установки для кварцита и 1 установка для железной стружки.

Три установки дозирования для углеродистого сырья предназначены для дозирования различных партий с различными зольностями. Таким образом, можно смешивать в различных пропорциях углеродистый материал с 45 и 65% зольностью или уголь с 30% зольностью и углеродистую породу с 65% зольностью, получая таким образом требуемую зольность, необходимую для плавления одной или другой марки сплава.

Основной установкой дозирования является один из взвешивающих накопителей (бункеров) для углеродистого сырьевого материала в зависимости от скорости, с которой другие сырьевые материалы перемещают на взвешивание. После взвешивания все сырьевые материалы подают на один реверсивный ленточный конвейер. Сырьевой материал помещают слоями на него. При этом достигается равномерное распределение углеродистого сырьевого материала, кварцита и железной стружки. Затем шихту выгружают с реверсивного ленточного конвейера на наклонный конвейер, который подает шихту в плавиль-

ный цех на отметке с накопителями (бункерами) печи.

#### 1.4. Загрузка накопителей (бункеров) печи и ванны печи.

Шихта проходит с наклонного конвейера через бункерный механизм на движущийся наклонный конвейер на отметке накопителей (бункеров) печи над ванной печи. В накопители (бункеры) печи последовательно подают шихту. Шихта из накопителей (бункеров) печи выгружается в ванну печи через загрузочные трубы, при необходимости, и зависит от скорости ее плавления в ванне печи. Существует десять загрузочных труб, т.е. по три около каждого электрода и одна загрузочная труба в центре между электродами. Шихту непрерывно подают на электроды. При необходимости ее соскребают к электродам при помощи специальных стальных скребков (для небольших электрических печей до 5 МВА) или при помощи специальных устройств для распределения шихты (для электрических печей 10-33 МВА) к электродам, создавая конусы шихты высотой 300-600 мм вокруг электродов. Это улучшает оседание отходящих газообразных субоксидов кремния (SiO) и алюминия (Al<sub>2</sub>O).

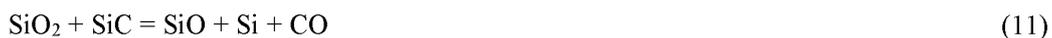
Процесс плавления железо-кремний-алюминиевого сплава можно разделить на три промежутка в зависимости от температуры и преимущественного поведения различных реакций.

Температурный интервал/диапазон T=1400-1500°C характеризуется активным снижением концентрации муллита в реакционной смеси. Следующие реакции происходят в этом температурном интервале/диапазоне в зависимости от пути нагревания шихты в этом температурном интервале/диапазоне:

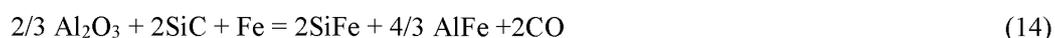


Среди них наибольший выход продукта получается только при реакции, дающей образование карбида кремния. Изменение его количества в реакционной смеси характеризуется быстрым всплеском, начиная с температуры >1550°C.

В температурном интервале/диапазоне 1650-2050°C вследствие повышения температуры начинают происходить следующие реакции:



При дальнейшем повышении температуры (свыше 1800°C) начинаются следующие реакции:



Особенностью этого температурного интервала/диапазона является образование карбида алюминия, который легко нейтрализуется в избытке диоксида кремния с образованием железо-кремний-алюминиевого сплава.

При температурах свыше 2050°C содержание карбидов кремния в шихте значительно падает, а концентрация кремния и алюминия в металле повышается. При этом карбид кремния потребляется главным образом для взаимодействия с алюминием, субоксидами Si и Al с образованием кремний-алюминиевого сплава:



Но одновременно с температурного уровня  $>2100^{\circ}\text{C}$  повышается испарение алюминия.

Пример 1.

Этот пример представляет железо-кремний-алюминиевый сплав, в шихту которого был добавлен марганец в виде оксидного материала, помимо углеродистой породы, кварцита и железной стружки (древесной стружки при необходимости).

Сплавы FeSiAl с марганцем.

А. Углеродистая порода 2,99 т, размер  $>20-80$  мм:

Зольность (в пересчете на сухую массу)	53,4%
Летучие вещества (в пересчете на сухую массу)	18,3%
Влажность	4,0%.

Состав золы:

SiO <sub>2</sub>	63,2%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,5%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,7%
CaO	1,1%
TiO <sub>2</sub>	0,9%
MgO	0,3%
S	0,018%
P	0,012%.

В. Кварцит - 0,126 т, размер 25-60 мм:

SiO <sub>2</sub>	97,5%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,0%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,6%
CaO	0,5%
MgO	0,2%

$\Sigma$  (оксиды P, S, Na, K, Ti)  $< 0,2\%$  (остаток).

С. Железная стружка - 0,09 т, размер 5-30 мм:

Fe <sub>общее</sub>	98,6%
Si, Al, C	остальное.

Д. Марганцевая руда 0,457 т, размер 10-60 мм:

Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	53,9%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,9%
SiO <sub>2</sub>	26,2%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,7%
CaO	5,2%
TiO <sub>2</sub>	0,1%
MgO	1,0%
S	0,02%
P	0,02%.
Потери при прокаливании	3,96%.

В конце процесса плавления получают сплав FeSiAl с марганцем со следующим средним составом (мас.%):

Si	45,2
Al	18,8
Mn	14,6
C	0,25
Ti	0,6
Ca	1,2
P	0,01
S	0,001
Fe	остальное.

Пример 2.

Этот пример представляет железо-кремний-алюминиевый сплав, в шихту которого был добавлен барий в виде оксидного материала, помимо углеродистой породы, кварцита и железной стружки (древесной стружки при необходимости).

FeSiAl с барием.

А. Углеродистая порода 3,03 т, размер >20-80 мм.

Зольность (в пересчете на сухую массу)	55,2%
Летучие вещества (в пересчете на сухую массу)	18,7%
Влажность	5,1%.

Состав золы:

SiO <sub>2</sub>	60,9%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,2%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,2%
CaO	1,5%
TiO <sub>2</sub>	1,0%
MgO	0,12%
S	0,014%
P	0,016%.

В. Кварцит - 0,397 т, размер 25-60 мм:

SiO <sub>2</sub>	97,3%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,2%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,7%
CaO	0,4%

(MgO + TiO<sub>2</sub> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + S + MnO + Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) < 0,4% – остальное.

С. Железная стружка - 0,091 т, размер 5-30 мм:

Fe <sub>общее</sub>	98,6%
---------------------	-------

Si, Al, C – остальное.

Д. Бариевая руда - 0,306 т, размер 10-50 мм:

BaSO <sub>4</sub>	81,3%
SiO <sub>2</sub>	15,2%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,4%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,82%
CaO	1,2%
MgO	0,06%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02%.

В конце процесса плавления получают сплав FeSiAl с барием со следующим средним составом (мас.%):

Si	51,3
Al	20,7
Ba	10,7
C	0,15
Ti	0,6
Ca	0,8
P	0,011
S	0,002
Fe	остальное.

### Пример 3.

Этот пример представляет железо-кремний-алюминиевый сплав, в шихту которого был добавлен кальций в виде оксидного материала, помимо углеродистой породы, кварцита и железной стружки (древесной стружки при необходимости).

Сплав FeSiAl с кальцием.

А. Углеродистая порода 3,17 т, размер >20-80 мм:

Зольность (в пересчете на сухую массу)	55,2%
Летучие вещества (в пересчете на сухую массу)	18,7%
Влажность	4,5%.

Состав золы:

SiO <sub>2</sub>	60,9%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,2%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,2%
CaO	1,5%
TiO <sub>2</sub>	1,0%
MgO	0,17%
S	0,014%
P	0,016%.

В. Кварцит - 0,42 т, размер 25-60 мм:

SiO <sub>2</sub>	97,3%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,2%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,7%
CaO	0,4%

(MgO + TiO<sub>2</sub> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + S) < 0,4% – остальное.

С. Железная стружка - 0,11 т, размер 5-30 мм:

Fe <sub>общее</sub>	98,6%
Si, Al, C –	остальное.

Д. Известь - 0,143 т, размер 10-30 мм:

SiO <sub>2</sub>	4,6%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,5%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3%
CaO	86,4%
MgO	4,4%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12%.

Потери при прокаливании 0,68%.

В конце процесса плавления получают сплав FeSiAl с кальцием со следующим средним составом (мас.%):

Si	53,2
Al	20,5
Ca	6,5
C	0,19
Ti	0,64
P	0,013
S	0,001
Fe	остальное.

Пример 4.

Этот пример представляет железо-кремний-алюминиевый сплав, в шихту которого был добавлен хром в виде оксидного материала, помимо углеродистой породы, кварцита и железной стружки (древесной стружки при необходимости).

Сплав FeSiAl с хромом.

А. Углеродистая порода 3,0 т, размер >20-80 мм:

Зольность (в пересчете на сухую массу)	50,1%
Летучие вещества (в пересчете на сухую массу)	18,4%
Влажность	4,1%.

Состав золы:

SiO <sub>2</sub>	64,8%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,6%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30,4%
CaO	0,96%
TiO <sub>2</sub>	1,12%
MgO	0,1%
S	0,012%
P	0,008%.

В. Кварцит - 0,455 т, размер 25-60 мм:

SiO <sub>2</sub>	97,2%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,0%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,6%
CaO	0,2%

(MgO + TiO<sub>2</sub> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + S) < 1,0% – остальное.

С. Железная стружка - 0,1 т, размер 5-30 мм:

Fe <sub>общее</sub>	98,6%
Si, Al, C	остальное.

D. Хромовая руда 0,325 т, размер 8-50 мм:

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47,35%
FeO	13,57%
SiO <sub>2</sub>	9,5%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,5%
CaO	0,4%
MgO	18,0%
S	0,01%
P	0,008%

Потери при прокаливании 3,66%.

В конце процесса плавления получают сплав FeSiAl с хромом со следующим средним составом (мас.%):

Si	52,4
Al	18,1
Cr	16,0
C	0,24
Ti	0,50
Ca	0,63
P	0,011
S	0,001
Fe	остальное.

Пример 5.

Следующий пример представляет железо-кремний-алюминиевый сплав, в шихту которого был добавлен ванадий в виде оксидного материала, помимо углеродистой породы, кварцита и железной стружки (древесной стружки при необходимости).

Сплав FeSiAl с ванадием.

A. Углеродистая порода 2,93 т, размер >20-80 мм:

Зольность (в пересчете на сухую массу)	53,4%
Летучие вещества (в пересчете на сухую массу)	18,1%
Влажность	4,7%.

Состав золы:

SiO <sub>2</sub>	62,2%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,6%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,5%
CaO	1,4%
TiO <sub>2</sub>	1,14%
MgO	0,14%
S	0,01%
P	0,011%.

B. Кварцит - 0,54 т, размер 25-60 мм:

SiO <sub>2</sub>	97,5%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,2%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,7%
CaO	0,4%

(MgO + TiO<sub>2</sub> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + S) < 0,2% – остальное.

C. Железная стружка - 0,118 т, размер 5-30 мм:

Fe <sub>общее</sub>	– 98,6%
Si, Al, C	– остальное.

D. Брикеты пентоксида ванадия ( $V_2O_5$ ) 0,15 т, размер 10-30 мм:

$V_2O_5$	95,0%
$SiO_2$	0,3%
$Fe_2O_3$	0,5%
$Al_2O_3$	0,5%
CaO	0,2%
$K_2O+Na_2O$	0,4%
$P_2O_5$	0,09%.

Потери при прокаливании 3,01%.

В конце процесса плавления получают сплав FeSiAl с ванадием со следующим средним составом (мас.%):

Si	54,0
Al	18,5
V	7,4
Ca	1,0
C	0,21
Ti	0,60
P	0,007
S	0,001
Fe	остальное.

Пример 6.

Этот пример представляет железо-кремний-алюминиевый сплав, в шихту которого был добавлен титан в виде оксидного материала, помимо углеродистой породы, кварцита и железной стружки (древесной стружки при необходимости).

Сплав FeSiAl с титаном.

A. Углеродистая порода 2,88 т, размер >20-80 мм:

Зольность (в пересчете на сухую массу)	53,7%
Летучие вещества (в пересчете на сухую массу)	17,5%
Влажность	4,2%.

Состав золы:

$SiO_2$	63,5%
$Fe_2O_3$	2,3%
$Al_2O_3$	31,4%
CaO	1,7%
$TiO_2$	0,95%
MgO	0,023%
S	0,011%
P	0,009%

(MgO +  $TiO_2$  +  $P_2O_5$  + S) < 0,2% – остальное.

B. Кварцит - 0,36 т, размер 25-60 мм:

$SiO_2$	97,5%
$Al_2O_3$	1,2%
$Fe_2O_3$	0,7%
CaO	0,4%.

C. Железная стружка - 0,129 т, размер 5-30 мм:

$Fe_{общее}$	98,6%
Si, Al, C	– остальное.

D. Обогащенный титаном шлак 0,26 т, размер 10-40 мм:

SiO <sub>2</sub>	9,67%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,8%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,60%
TiO <sub>2</sub>	63,2%
CaO	3,4%
MgO	1,7%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,008%
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,40%
Влажность	1,0%.

В конце процесса плавления получают сплав FeSiAl с титаном со следующим средним составом (мас.%):

Si	49,5
Al	18,7
Ti	7,7
Ca	1,4
V	0,2
C	0,22
P	0,007
S	0,001
Fe	остальное.

Пример 7.

Этот пример представляет очищенный феррохромовый (FeCr) сплав, в шихту которого, кроме хромовой руды и извести, добавляли сплав FeSiAl в качестве восстанавливающего материала.

A. Хромовая руда 2,29 т, размер 5-15 мм:

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	49,5%
FeO	11,2%
SiO <sub>2</sub>	8,6%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,5%
CaO	0,22%
MgO	18,5 %
S	0,023%
P	0,007%.

Потери при прокаливании 4,45%.

B. Известь - 1,3 т, размер 10-25 мм:

SiO <sub>2</sub>	4,6%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5%
CaO	90,1%
MgO	2,4%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1%.

Потери при прокаливании 2,0%.

С. FeSiAl - 0,5 т, размер 5-10 мм:

Si	58,6
Al	19,2
Fe	20,32
Ca	0,74
Ti	0,85
C	0,28
P	0,01
S	0,001

В конце процесса плавления получают сплав FeCr со следующим средним составом (мас.%):

Cr	71,3
Si	1,45
Al	0,20
C	0,08
P	0,01
S	0,02
Fe	остальное.

Пример 8.

Следующий пример представляет способ получения 1 т металлического магния с помощью сплава FeSiAl в качестве восстанавливающего средства. Начало процесса включает брикетирование измельченной доломы (прокаленного известкового доломита) и FeSiAl с размером 0,1-5 мм. Процесс восстановления происходит в течение 8 ч в реторте при 1200°C и вакууме  $10^{-2}$  атм.

А. Долома - 1,7 т, размер 0,1-2,0 мм:

CaO	50,3%
MgO	35,5%
SiO <sub>2</sub>	1,8%
FeO	1,0%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03%.

Потери при прокаливании 10,57%.

В. FeSiAl - 0,25 т, размер 0,1-5 мм:

Si	77,8%
Al	7,2%
Ca	0,70%
Ti	0,50%
C	0,12%
P	0,009%
S	0,002%
Fe	остальное.

В конце процесса плавления получают чистый металлический магний (99,9%) и шлак.

Список условных обозначений:

- 1 - углеродистая порода;
- 2 - накопитель(бункер);
- 3 - вибрационный питатель;
- 4 - конвейер;
- 5 - дробилка;
- 6 - сито;
- 7 - кварцит;
- 8 - накопитель (бункер);
- 9 - вибрационный питатель;

- 10 - лента конвейера;
- 11 - установка для дробления;
- 12 - сито;
- 13 - бункер;
- 14 - бункер;
- 15 - бункер;
- 15а - железная стружка;
- 16 - дозирующие тензиометрические весы;
- 17 - дозирующие тензиометрические весы;
- 18 - дозирующие тензиометрические весы;
- 19 - ленточный конвейер;
- 20 - транспортное оборудование;
- 21 - электроды Содерберга;
- 22 - конус;
- 23 - плавильная печь;
- В - бункер;
- Н - древесная стружка.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения FeSiAl сплавов, в котором углеродистую породу (1) с зольностью от >50% до <65% смешивают с кварцитом (7), железосодержащим материалом (15а) в заданном соотношении компонентов шихты и гомогенизированный шихтовый материал загружают в плавильную печь (23) для плавления FeSiAl сплава, при этом железосодержащий материал представляет собой железную стружку, которую добавляют в шихту в соотношении общего Fe/Fe из железной стружки, равном 1,1-1,35.

2. Способ по п.1, в котором шихтовые материалы смешивают и гомогенизируют вне плавильной печи (23), а затем гомогенизированную шихту дозированно загружают горкой в плавильную печь (23), оборудованную электродами (21), а затем сплав FeSiAl плавят.

3. Способ по п.1 или 2, в котором углеродистая порода (1) имеет размер >20-80 мм, кварцит (7) имеет размер 25-60 мм, а железосодержащий материал (15а) имеет размер 5-100 мм, в частности 5-50 мм.

4. Способ по пп.1-3, в котором углеродистую породу (1) с зольностью от >50% до <65% при необходимости смешивают с древесной стружкой (Н) или углем с высоким содержанием летучих веществ, где древесная стружка (Н) или уголь с высоким содержанием летучих веществ имеет размер 50-100 мм.

5. Способ по п.4, в котором при использовании древесной стружки (Н) сырьевой материал содержит >50% летучих веществ.

6. Способ по п.4, в котором при использовании угля с высоким содержанием летучих веществ сырьевой материал содержит >40% летучих веществ.

7. Способ по любому из пп.1-6, в котором шихтовые материалы - углеродистую породу (1), кварцит (7) и железосодержащий материал (15а), при необходимости древесную стружку (Н) или уголь с высоким содержанием летучих веществ - хранят в отдельных накопителях (13, 14, 15, В) с требуемым размером фракции и в зависимости от мощности плавильной печи (23) смешивают в заданном соотношении и загружают дозированно в плавильную печь (23), оборудованную электродами Содерберга (21).

8. Способ по любому из пп.1-7, в котором углеродистую породу (1) с высоким электрическим сопротивлением используют в качестве сырьевого материала, в частности с электрическим сопротивлением от  $10^{-6}$  до  $10^{-1}$  Ом.

9. Способ по любому из пп.1-8, в котором при необходимости следующие оксидные материалы, содержащие Mn, Ca, Ba, Cr, V, Ti, отдельно добавляют в шихтовые материалы.

10. Способ по п.9, в котором количество оксидного материала, при необходимости добавленного в состав шихты, обеспечивает следующий состав шихты:

- Ca - 0,05-7,0%,
- Ba - 1,5-15%,
- V - 0,5-10%,
- Ti - 0,05-10%,
- Mn - 5-20%,
- Cr - 5-20%.

11. Способ по любому из пп.1-10, в котором сплавы FeSiAl со следующим химическим составом плавят в плавильной печи (23) (мас.%):

- Si - 40-85%,
- Al - >1-<40%,
- C - >0,001-<1,0%,
- Ti - макс. 2%,
- Ca - <1,0%,

P - <0,05%,  
 S - <0,1%,  
 Mn - макс. 0,7%,  
 Fe - остальное.

12. Способ по п.9 или 10, в котором марганец в виде оксидного материала добавляют при необходимости в шихтовый материал, при этом сплав FeSiAl со следующим химическим составом плавят в плавильной печи (23):

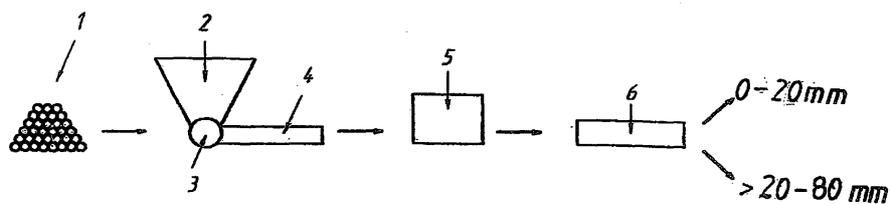
Si - 40-65%,  
 Al - >1-<40%,  
 C - >0,001-<0,40%,  
 Ti - макс. 1,5%,  
 Ca - <4,0%,  
 P - <0,05%,  
 S - <0,05%,  
 Mn - 5-20%,  
 Fe - остальное;

и таким же образом при необходимости добавляют Ca, Ba, V, Ti и Cr в виде оксидных материалов для обеспечения содержания этих элементов, каждого из них отдельно, согласно п.10.

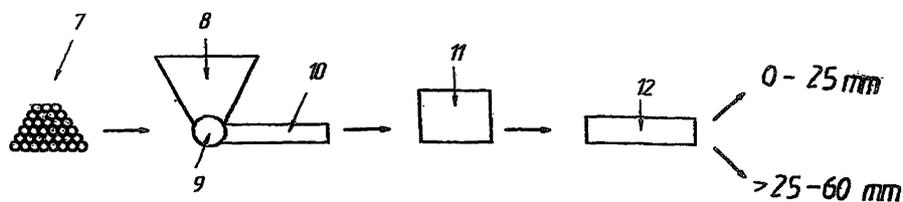
13. Применение сплава FeSiAl, полученного по любому из способов по пп.1-12, для восстановления и легирования стали.

14. Применение сплава FeSiAl, полученного по любому из способов по пп.1-12, для получения магния.

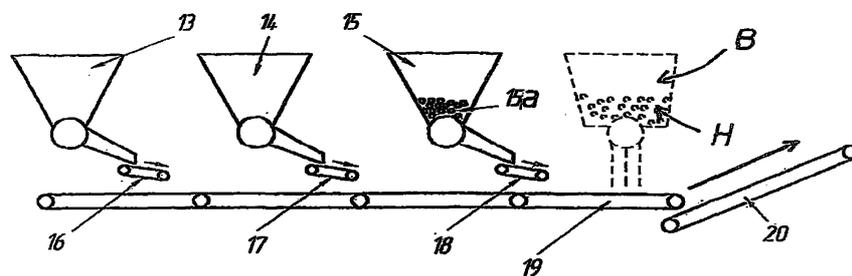
15. Применение сплава FeSiAl, полученного по любому из способов по пп.1-12, для получения рафинированных сортов ферросплавов.



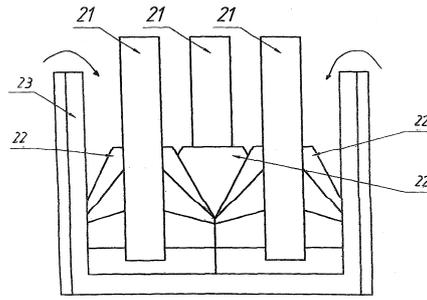
Фиг. 1



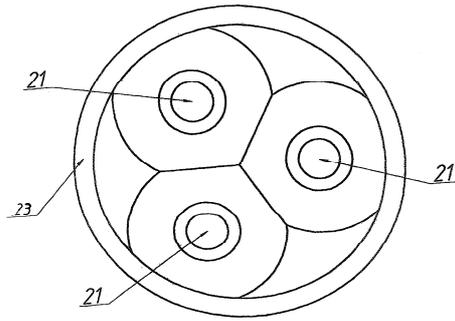
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5