

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **041644**

(13) **B1**

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

- |  |   |
|--|---|
| (45) Дата публикации и выдачи патента<br><b>2022.11.17</b> | (51) Int. Cl. <b>C22C 28/00</b> (2006.01)<br><b>B22D 27/20</b> (2006.01)<br><b>C21C 1/00</b> (2006.01)<br><b>C21C 7/00</b> (2006.01)<br><b>C22C 38/02</b> (2006.01)<br><b>C22C 33/00</b> (2006.01)<br><b>C22C 33/04</b> (2006.01)<br><b>C21C 7/06</b> (2006.01)<br><b>C22C 33/06</b> (2006.01)<br><b>H01F 1/147</b> (2006.01) |
| (21) Номер заявки<br><b>202092325</b>                      |   |
| (22) Дата подачи заявки<br><b>2019.04.02</b>               |   |

---

(54) **СПЛАВ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ, СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ  
ТАКОГО СПЛАВА**

---

- |  |                    |
|--|--------------------|
| (31) <b>20180441</b>   | (56) EP-A1-3075869 |
| (32) <b>2018.04.03</b>   | SU-A1-1242536      |
| (33) <b>NO</b>   | KR-B1-101030552    |
| (43) <b>2021.05.21</b>   |                    |
| (86) <b>PCT/NO2019/050067</b>  |                    |
| (87) <b>WO 2019/194681 2019.10.10</b>                                    |                    |
| (71)(73) Заявитель и патентовладелец:<br><b>ЭЛКЕМ АСА (NO)</b>           |                    |
| (72) Изобретатель:<br><b>Дюкан Амели (FR), Клеван Оле Свейн<br/>(NO)</b> |                    |
| (74) Представитель:<br><b>Медведев В.Н. (RU)</b>                         |                    |

- 
- (57) Настоящее изобретение относится к сплаву на основе кремния, содержащему 45-95 мас.% Si; макс. 0,05 мас.% C; 0,01-10 мас.% Al; 0,01-0,3 мас.% Ca; макс. 0,10 мас.% Ti; 1-25 мас.% Mn; 0,005-0,07 мас.% P; 0,001-0,005 мас.% S; причем остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве, к способу получения указанного сплава и его применению.

**B1**

**041644**

**041644  
B1**

### Область техники

Настоящее изобретение относится к сплаву на основе кремния, способу его получения и применению такого сплава.

#### Предпосылки создания изобретения

Ферросилиций (FeSi) представляет собой сплав кремния и железа и является важной добавкой в производстве стальных изделий. Такие сплавы обычно называют ферросилициевыми сплавами, но при высоком содержании кремния и/или при высоком содержании легирующих элементов в сплаве присутствует очень небольшое количество железа, поэтому для обозначения таких сплавов также используют термин "кремниевые (Si) сплавы". Кремний в форме ферросилиция используют для удаления кислорода из стали и в качестве легирующего элемента для улучшения качества конечной стали. В частности, кремний увеличивает прочность и износостойкость, эластичность (пружинные стали), окалиностойкость (жаропрочные стали) и снижает электропроводность и магнитострикцию (электротехнические стали). Примеры марок ферросилиция предшествующего уровня техники, произведенных компанией Elkem, приведены в табл. 1. Специальный ферросилиций, такой как LA1 (с низким содержанием алюминия), HP/SHP (высокой чистоты/технической чистоты) и LC (низкоуглеродистый), используют при производстве специальных марок стали, таких как электротехническая сталь, нержавеющая сталь, подшипниковая сталь, пружинная сталь и сталь для шинных кордов.

Таблица 1. Примеры марок ферросилициевых сплавов (все в мас.%)

Марки	Si	Al макс.	Ti макс.	C макс.
Стандартный FeSi	74-78	1,5	0,1	0,1
LC FeSi	74-78	1,0	0,1	0,02
LAI FeSi	74-78	0,1	0,1	0,04
SHP FeSi	74-78	0,1	0,05	0,02
HP FeSi	74-78	0,05	0,02	0,02

Электротехническая изотропная сталь (NGOES) крайне важна для производства магнитных сердечников электрических машин, таких как двигатели, генераторы и трансформаторы. Как правило, NGOES легируют кремнием в диапазоне 0,1-3,7 мас.% в зависимости от производителя и качества, но также могут встречаться более высокие уровни содержания Si. Сорта с низким содержанием Si (обычно <1,5 мас.% Si) в настоящем документе упоминаются как низкосортные, при этом сорта с более высокими уровнями (>2/2,5 мас.%) кремния часто называют высокосортными. Спрос на высококачественную сталь NGOES растет во всем мире, что обусловлено растущим уровнем электрификации (например, ростом числа электромобилей) и необходимостью сокращения выбросов CO<sub>2</sub>. Таким образом, существует необходимость в разработке новых сортов NGOES, для которых, в свою очередь, требуются более эффективные решения, позволяющие производить или разрабатывать такие сорта.

Для NGOES требуется как можно более низкое содержание углерода (как правило, C<0,005 мас.%). При производстве NGOES следует использовать низкоуглеродистые сплавы, чтобы по мере возможности сводить к минимуму углеродное загрязнение стали. Для получения требуемого низкого уровня углерода потребуются дополнительные и дорогостоящие технологические стадии, если уровень углерода в расплаве стали слишком высокий из-за загрязнения со стороны добавленных сплавов. Вот почему низкоуглеродистые ферросилициевые/кремниевые сплавы широко применяли ранее и по-прежнему широко используют при изготовлении NGOES в форме LC, LA1 или HP/SHP FeSi.

В последнее время марганец все чаще используют в качестве легирующего элемента в высокосортных NGOES. Одним из основных источников загрязнения углеродом при производстве таких сортов стали помимо кремниевых сплавов является использование марганцевых сплавов. Для поддержания низкого содержания добавленного углерода часто применяют дорогостоящие сорта марганца, такие как низкоуглеродистый ферромарганец (LC FeMn) или металлический марганец. Текущая практика включает использование отдельного добавления низкоуглеродистого сплава на основе кремния, такого как LC, LA1 или HP/SHP FeSi, и низкоуглеродистого сплава на основе марганца, такого как низкоуглеродистый ферромарганец (LC FeMn) или металлический марганец, для достижения желаемого уровня Si и Mn в стали, при этом поддерживается как можно более низкое содержание углерода в стали. Производство низкоуглеродистых кремниевых сплавов и низкоуглеродистых ферромарганцевых сплавов стоит дорого, и необходимо добавлять эти сплавы в сталь по отдельности.

Основной загрязняющий элемент в сплавах на основе марганца представляет собой углерод, который может составлять 0,04-8 мас.%. Примеры коммерчески доступных сплавов Mn представляют собой высокоуглеродистый ферромарганец (HC FeMn), обычно имеющий содержание углерода 6-8 мас.%, среднеуглеродистый ферромарганец (MC FeMn), обычно содержащий 1-2 мас.% углерода C, и низкоуглеродистый ферромарганец (LC FeMn) с содержанием C около 0,5 мас.%. Кроме того, доступны электролитический марганец с содержанием C не более 0,04 мас.%. Могут быть доступны другие сплавы с раз-

личным содержанием углерода до 8 мас.%. Следует также отметить, что самое низкое содержание углерода в сплавах Mn наблюдается в электролитическом марганце, при производственном процессе которого, как известно, возникают экологические проблемы и требуются большие затраты для реализации. Ниже в табл. 2 показаны примеры марганцевых сплавов для коммерческого использования.

Таблица 2. Примеры марганцевых сплавов для коммерческого использования (все в мас.%)

Сплав	Mn	C макс.	P макс.	Si макс.	S макс.	Поставщик
HC FeMn	78 мин.	6,5-7,5	0,20	0,3	0,01	Eramet
MC FeMn	80-83	1,5	0,20	0,6	0,01	Eramet
LC FeMn	80-83	0,5	0,20	0,6	0,01	Eramet
Электролитический металлический Mn	мин.99,7	0,04	0,005	Н/п	0,05	Changsha Xinye Ind. Co. Ltd.
Силикотермический металлический Mn	мин.95	0,2	0,07	1,8	0,05	Felman trading

Существует ряд проблем, связанных с текущим способом производства NGOES, содержащей Mn, таких как время обработки вследствие отдельного добавления кремниевого сплава и марганцевого сплава, стоимость и качество, а также необходимость добавления большого количества сплавов.

Таким образом, целью настоящего изобретения является создание нового экономичного сплава на основе кремния с низким содержанием углерода, содержащего марганец, который можно использовать в качестве единственного сплава, добавляемого к маркам стали, таким как NGOES, в которых требуется низкое содержание углерода и определенное содержание марганца.

Другая цель заключается в предоставлении способа получения указанного сплава на основе Si.

Еще одной целью является обеспечение применения указанного сплава на основе Si.

Эти и другие преимущества настоящего изобретения станут очевидными из следующего описания.

#### Изложение сущности изобретения

В первом аспекте настоящее изобретение относится к сплаву на основе кремния, содержащему

45-95 мас.% Si;

макс. 0,05 мас.% C;

0,01-10 мас.% Al;

0,01-0,3 мас.% Ca;

макс. 0,10 мас.% Ti;

1-25 мас.% Mn;

0,005-0,07 мас.% P;

0,001-0,005 мас.% S;

причем остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве.

В одном варианте осуществления сплав на основе кремния содержит 50-80 мас.% Si.

В другом варианте осуществления сплав на основе кремния содержит 64-78 мас.% Si.

В одном варианте осуществления сплав на основе кремния содержит макс. 0,03 мас.% C.

В одном варианте осуществления сплав на основе кремния содержит 0,01-0,1 мас.% Ca.

В одном варианте осуществления сплав на основе кремния содержит макс. 0,06 мас.% Ti.

В одном варианте осуществления сплав на основе кремния содержит 1-20 мас.% Mn.

Во втором аспекте настоящее изобретение относится к способу получения сплава на основе кремния, как указано выше, способ включает получение жидкого базового ферросилициевого сплава, содержащего

Si: 45-95 мас.%;

C: до 0,5 мас.%;

Al: до 2 мас.%;

Ca: до 1,5 мас.%;

Ti: 0,01-0,1 мас.%;

Mn: до 0,5 мас.%;

P: до 0,02 мас.%;

S: до 0,005 мас.%;

причем остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве, и добавление источника Mn, в форме высокоуглеродистого ферромарганцевого сплава, имеющего содержание углерода 6-8 мас.%, среднеуглеродистого ферромарганцевого сплава, имеющего содержание углерода 1-2 мас.%, низкоуглеродистого ферромарганцевого сплава, имеющего содержание углерода около 0,5 мас.%, металлического Mn или их смеси в указанный жидкий ферросилиций с получением расплава, и рафинирование указанного полученного расплава, причем рафинирование включает удаление образовавшихся частиц карбида кремния до и/или во время литья указанного расплава.

В одном варианте осуществления Al добавляют для корректирования содержания Al в соответствии с диапазоном 0,1-10 мас.%.

В другом аспекте настоящее изобретение относится к применению сплава на основе кремния, как определено выше в настоящем документе, в качестве добавки при производстве стали.

В одном варианте осуществления настоящее изобретение относится к применению сплава на основе кремния, как определено выше, в качестве добавки при производстве электротехнической изотропной стали.

### Подробное описание изобретения

В соответствии с настоящим изобретением предложен новый сплав на основе кремния с низким содержанием углерода и содержанием марганца до 25 мас.%.

Сплав в соответствии с изобретением имеет следующую композицию:

Si: 45-95 мас.%;  
 C: макс. 0,05 мас.%;  
 Al: 0,01-10 мас.%;  
 Ca: 0,01-0,3 мас.%;  
 Ti: макс. 0,10 мас.%;  
 Mn: 1-25 мас.%;  
 P: 0,005-0,07 мас.%;  
 S: 0,001-0,005 мас.%;

причем остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве.

В настоящей заявке термины "сплав на основе кремния" и "сплав на основе ферросилиция" применяются взаимозаменяемо. Si является основным элементом в этом сплаве, добавляемым в стальной расплав. Традиционно используют 75 мас.% Si или 65 мас.% Si. Ферросилиций с 75 мас.% Si при добавлении дает более высокий рост температуры расплава стали, чем при добавлении 65 мас.% Si, что практически не оказывает влияния на температуру. В настоящее время в сталелитейной промышленности редко используют ферросилиций с менее 50 мас.% Si, и это означает, что для достижения целевого содержания Si в стали приходится добавлять большое количество сплава, из-за чего возникают проблемы при производстве стали. Уровень выше 80% в настоящее время используют редко, поскольку стоимость производства единицы кремния увеличивается с ростом содержания кремния в сплаве на основе Si. Таким образом, предпочтительный диапазон Si составляет 50-80 мас.%. Другой предпочтительный диапазон Si составляет 64-78 мас.%.

Углерод является основным нежелательным элементом в NGOES, и его должно быть как можно меньше в этом новом сплаве в соответствии с изобретением. Максимальное содержание углерода в указанном сплаве составляет 0,05 мас.%. Предпочтительное содержание должно составлять макс. 0,03 мас.% или даже макс. 0,02 мас.%, что характерно для используемых в настоящее время низкоуглеродистых сортов ферросилиция, используемых при изготовлении указанной стали. Полное удаление углерода может оказаться затруднительным, поэтому обычно в сплаве в соответствии с изобретением может присутствовать 0,003 мас.% C. Одним из ключевых параметров является соотношение углерода и марганца, в большей степени, чем само содержание углерода. При увеличении содержания марганца в сплаве содержание углерода в новом сплаве на основе кремния в соответствии с изобретением может составлять макс. 0,05 мас.%.

Алюминий является примесью в производстве сплава на основе кремния, обычно около 1 мас.% из печи в стандартном сорте. Его можно рафинировать до максимум 0,01 мас.%, хотя для NGOES максимум 0,03 мас.% или даже максимум 0,1 мас.% были бы хорошими решениями. Однако Al часто добавляют в сталь NGOES в малых или больших количествах. Таким образом, в некоторых случаях предпочтительным может быть добавление в сплав в соответствии с изобретением до 5 мас.% или даже до 10 мас.% алюминия.

Кальций является примесью в производстве сплавов на основе кремния, и его содержание должно оставаться низким, чтобы избежать проблем, таких как закупорка сталеразливочного стакана, во время получения стали и литья. В сплаве в соответствии с изобретением диапазон содержания кальция составляет 0,01-0,3 мас.%. Предпочтительный диапазон содержания кальция составляет 0,01-0,1 мас.%. Предпочтительное содержание составляет макс. 0,05 мас.%. Если содержание кальция в исходном материале для производства сплава в соответствии с изобретением выше, чем желаемое содержание кальция в ука-

занном сплаве, кальций можно легко удалять во время производства посредством продувки/перемешивания с кислородом (с кислородом из воздуха и/или с чистым кислородом) и тем самым получать оксид кальция, который можно удалять как шлак.

Титан представляет собой примесь в производстве сплавов на основе кремния, обычно около 0,08 мас.% из печи в 75 мас.% FeSi в стандартном производстве, но это зависит от смеси сырья. Однако в NGOES низкое содержание титана часто дает некоторые преимущества и помогает избежать образования вредных включений. Таким образом, содержание Ti в новом сплаве в соответствии с изобретением предпочтительно составляет макс. 0,06 мас.% или даже макс. 0,03 мас.%. В указанном сплаве могут присутствовать следы Ti таким образом, что минимальный уровень Ti может составлять 0,005 мас.%. Рафинирование Ti в ковше представляет собой сложную задачу, поэтому для обеспечения низкого содержания титана требуется хорошая работа печи и подбор сырья.

Марганец, как правило, представляет собой примесь в производстве сплавов на основе кремния. Однако авторы изобретения неожиданно обнаружили, что при легировании сплава на основе кремния марганцем в диапазоне от 1 до 25 мас.% с сохранением низкого содержания углерода обеспечивается сплав с превосходными свойствами, особенно для использования в производстве марок стали, в которых требуется низкое содержание углерода, таких как NGOES. Другими возможными диапазонами содержания Mn являются 1-20 мас.%, или 1-15 мас.%, или 2-10 мас.%.

Фосфор представляет собой примесь в производстве сплавов на основе кремния. В частности, в сплавах на основе кремния уровни P без добавления Mn составляют ниже 0,04%. Однако уровень P обычно выше в сплавах Mn, поэтому легирование Mn может приводить к более высокому содержанию P в конечном продукте. Однако содержание P в стали с образованием при добавлении кремниевого сплава согласно настоящему изобретению будет таким же или немного ниже, чем при раздельном добавлении кремниевого сплава и марганцевого сплава.

Как правило, содержание серы в производстве кремниевых сплавов незначительно. Однако содержание S обычно немного выше в сплавах Mn, поэтому легирование Mn может приводить к более высокому содержанию S в конечном продукте. Однако содержание S в стали с образованием при добавлении кремниевого сплава согласно настоящему изобретению будет таким же или немного ниже, чем при раздельном добавлении кремниевого сплава и марганцевого сплава.

Предпочтительная композиция сплава в соответствии с изобретением представляет собой

Si: 64-78 мас.%;  
C: макс. 0,03 мас.%;  
Al: 0,1-10 мас.%;  
Ca: 0,01-0,05 мас.%;  
Ti: макс. 0,06 мас.%;  
Mn: 1-20 мас.%;  
P: 0,005-0,05 мас.%;  
S: 0,001-0,005 мас.%;

причем остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве.

Сплав в соответствии с настоящим изобретением получают путем добавления источника Mn, содержащего углерод, в качестве легирующего элемента или примесного элемента в жидкий сплав на основе Si. Источник Mn может быть представлен в форме твердых или жидких марганцевых источников, в форме марганцевого сплава или металлического марганца или их смеси. Источник марганца может содержать обычные примеси/загрязнители. Марганцевый сплав может представлять собой, например, ферромарганцевый сплав, такой как высокоуглеродистый ферромарганец, среднеуглеродистый ферромарганец, низкоуглеродистый ферромарганец или их смесь. Для использования в настоящем изобретении подходит коммерческий марганцевый сплав, например, как указано в таблице 2 выше, или комбинация из двух или более таких сплавов. Добавляемый Mn предпочтительно представлен в форме высокоуглеродистого ферромарганца или среднеуглеродистого ферромарганца.

Добавленный углерод из источника марганца будет вступать в реакцию с кремнием с формированием тем самым твердых частиц SiC (карбида кремния), которые во время рафинирования удаляют из расплава в огнеупор ковша или в любой шлак, который образуется до или во время процесса литья, предпочтительно с перемешиванием в ковше. При необходимости получения достаточно большого рецептора для захватывания сформированных частиц SiC могут быть добавлены шлакообразующие. В результате получают сплав Si в соответствии с изобретением с низким содержанием углерода и с содержанием марганца, с указанным выше диапазоном элементов.

Примером композиции для исходного материала может быть жидкий FeSi из печи, но в зависимости от конечной спецификации возможны и многие другие композиции. Другой возможный исходный материал может быть получен переплавом любых коммерческих сплавов на основе кремния, таких как стандартный ферросилиций или ферросилиций высокой чистоты.

Таким образом, возможный исходный материал может содержать

Si: 45-95 мас.%;  
 С: до 0,5 мас.%;  
 Al: до 2 мас.%;  
 Са: до 1,5 мас.%;  
 Ti: 0,01-0,1 мас.%;  
 Mn: до 0,5 мас.%;  
 P: до 0,02 мас.%;  
 S: до 0,005 мас.%;

причем остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве.

Если содержание алюминия в конечном продукте необходимо увеличить (до 10%), в ковш можно добавлять твердые или жидкие алюминиевые компоненты. В альтернативном варианте осуществления алюминий в печной пробе можно увеличивать путем выбора сырья для печи. Al можно добавлять для корректирования содержания Al в соответствии с диапазоном 0,01-10 мас. %.

Для получения сплава в соответствии с изобретением можно выполнять дополнительные стадии, включающие рафинирование, сгребание шлака и/или перемешивание в соответствии с общеизвестными технологиями, в частности для достижения низких уровней углерода, заявленных в настоящем изобретении. Такие стадии можно выполнять до или во время процесса литья или в комбинации.

Представленные ниже примеры иллюстрируют настоящее изобретение без ограничения его объема.

Пример 1.

В двух отдельных экспериментах ферросилиций выпускали обычным образом в разливочный ковш для приема плавки (ковш 1 и ковш 2) при донном перемешивании воздухом. Количество выпущенного в каждый ковш (ковш 1 и ковш 2) ферросилиция составляло около 5900 кг. В таблице 3 показана композиция исходного материала в двух использованных ковшах.

Таблица 3. Исходный материал (мас.%)

Исходный материал	Al	Si	P	Ca	Ti	Mn	C
Ковш 1	0,78	77,26	0,012	0,16	0,058	0,172	0,0533
Ковш 2	1,60	75,25	0,011	0,98	0,057	0,234	0,3794

После выпуска крупнокусковой FeMn с 75,7 мас.% Mn, 6-8 мас.% С, причем остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве, добавляли в жидкий ферросилиций в каждом ковше в количестве, равном 246 кг источника Mn, чтобы обеспечить уровень 4,5% Mn в конечном продукте. Поскольку усвоение Mn не было известно, FeMn добавляли постепенно в течение периода 20-25 мин до достижения целевого значения Mn 4,5% (добавления можно проводить за более короткое или более продолжительное время). Донное перемешивание поддерживали в течение всего процесса добавления с обеспечением хорошего растворения Mn и удаляли образовавшиеся частицы SiC из расплава Si-сплава в образовавшийся шлак и к стенкам ковша. После стадии рафинирования ковши помещали в зону литья, откуда брали конечную жидкую пробу перед литьем в чугунные литейные формы.

Пробы нового сплава, полученного в соответствии с изобретением, брали в конце жидкой стадии непосредственно перед литьем. Результаты для двух ковшей показаны в табл. 4.

Все пробы анализировали с помощью XRF (Zetium® компании Malvern Panalytical) на содержание Al, Si, P, Ca, Ti, Mn, а для С использовали LECO® CS-220 (анализ методом сжигания пробы).

Таблица 4. Анализ (мас.%) в конце жидкой стадии

	Al	Si	P	Ca	Ti	Mn	C
Ковш 1	0,27	74,18	0,016	0,02	0,057	4,43	0,018
Ковш 2	0,22	73,47	0,015	0,01	0,058	4,74	0,008

Пример 2.

Жидкий ферросилиций выпускали обычным образом в разливочный ковш с донным перемешиванием воздухом. Количество выпущенного в ковш ферросилиция составляло около 6000 кг. Композиция исходного материала представлена в табл. 5.

Во время выпуска крупнокусковой FeMn с 78,4 мас.% Mn, 6,85 мас.% С, причем остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве, добавляли в жидкий ферросилиций в количестве, равном 950 кг. Вместе с FeMn в расплав добавляли 100 кг кварца, чтобы увеличить объем рецепторов для обеспечения захвата образовавшегося SiC. Донное перемешивание продолжали в течение всего процесса добавления с обеспечением хорошего растворения Mn и удаления образовавшихся частиц SiC из расплава FeSi-сплава к стенкам ковша с образованием шлака. После стадии рафинирования ковш помещали в

зону литья, откуда брали конечную жидкую пробу перед литьем в чугунные литейные формы.

Пробы нового сплава, полученного в соответствии с изобретением, брали в конце жидкой стадии непосредственно перед литьем и в конечном продукте после литья. Результаты приведены в таблице 5.

Все пробы анализировали с помощью XRF (Zetium® компании Malvern Panalytical) на содержание Al, Si, P, Ca, Ti, Mn, а для С использовали LECO® CS-220 (анализ методом сжигания пробы).

Таблица 5. Химическая композиция (мас.%) на различных стадиях эксперимента

	Al	Si	P	Ca	Ti	Mn	C
<b>Исходный материал</b>	0,57	75,66	0,008	0,33	0,017	0,21	0,030
<b>Перед литьем</b>	0,10	68,71	0,021	0,03	0,018	9,04	0,004
<b>Конечный продукт</b>	0,09	68,76	0,019	0,03	0,018	8,91	0,005

С использованием такого способа авторы изобретения получали низкий уровень углерода, что можно объяснить низкой растворимостью углерода в высококремнистых сплавах. Однако неожиданно было обнаружено, что можно достичь таких же низких уровней углерода, как и в нынешних сортах низкоуглеродистого ферросилиция (см. табл. 1).

Сплав в соответствии с изобретением представляет собой экономичную альтернативу разделному добавлению требуемых легирующих элементов Si и Mn по отдельности в виде ферросилиция и марганцевого сплава или металлического марганца за счет улучшения времени и качества процесса. С помощью указанного сплава производители NGOES смогут также снизить общее содержание углерода в стали и достичь более низкого уровня, чем при добавлении ферросилиция/сплава на основе Si и марганца в форме низкоуглеродистого марганцевого сплава или металлического марганца по отдельности. Кроме того, благодаря указанному сплаву производители электротехнической стали смогут выпускать новые сорта с более высоким содержанием Mn и при этом сохранять низкое содержание углерода в стали с использованием только одной легирующей добавки.

Из описания различных вариантов осуществления изобретения специалистам в данной области будет очевидно, что можно применять и другие варианты осуществления, включающие в себя указанные понятия. Эти и другие примеры изобретения, проиллюстрированные выше, приведены только в качестве примера, и фактический объем изобретения определяется из приведенной ниже формулы изобретения.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Сплав на основе кремния, содержащий  
45-95 мас.% Si;  
макс. 0,05 мас.% C;  
0,01-10 мас.% Al;  
0,01-0,3 мас.% Ca;  
макс. 0,10 мас.% Ti;  
1-25 мас.% Mn;  
0,005-0,07 мас.% P;  
0,001-0,005 мас.% S;  
причем остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве.
2. Сплав на основе кремния по п.1, содержащий 50-80 мас.% Si.
3. Сплав на основе кремния по п.2, содержащий 64-78 мас.% Si.
4. Сплав на основе кремния по любому из предшествующих пунктов, содержащий макс. 0,03 мас.% C.
5. Сплав на основе кремния по любому из предшествующих пунктов, содержащий 0,01-0,1 мас.% Ca.
6. Сплав на основе кремния по любому из предшествующих пунктов, содержащий макс. 0,06 мас.% Ti.
7. Сплав на основе кремния по любому из предшествующих пунктов, содержащий 1-20 мас.% Mn.
8. Способ получения сплава на основе кремния по любому из пп.1-7, причем указанный способ включает получение жидкого базового ферросилициевого сплава, содержащего  
Si 45-95 мас.%;  
C до 0,5 мас.%;  
Al до 2 мас.%;  
Ca до 1,5 мас.%;  
Ti 0,01-0,1 мас.%;  
Mn до 0,5 мас.%;  
P до 0,02 мас.%;

S до 0,005 мас.%;

причем остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве, добавление источника Mn в форме высокоуглеродистого ферромарганцевого сплава, имеющего содержание углерода 6-8 мас.%, среднеуглеродистого ферромарганцевого сплава, имеющего содержание углерода 1-2 мас.%, низкоуглеродистого ферромарганцевого сплава, имеющего содержание углерода около 0,5 мас.%, металлического Mn или их смеси в указанный жидкий ферросилиций с получением расплава, и рафинирование указанного полученного расплава, причем рафинирование включает удаление образовавшихся частиц карбида кремния до и/или во время литья указанного расплава.

9. Способ по п.8, в котором Al добавлен для корректирования содержания Al в соответствии с диапазоном 0,01-10 мас.%.

10. Применение сплава на основе кремния по любому из пп.1-7 в качестве добавки при производстве стали.

11. Применение по п.10 в процессе производства электротехнической изотропной стали.

