

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202092940** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2021.03.24

(22) Дата подачи заявки
2019.06.07

(51) Int. Cl. *C22C 28/00* (2006.01)
C22C 33/00 (2006.01)
C22C 35/00 (2006.01)
C21C 1/10 (2006.01)
C21C 7/06 (2006.01)

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

(31) 20180804

(32) 2018.06.11

(33) NO

(86) PCT/NO2019/050116

(87) WO 2019/240589 2019.12.19

(71) Заявитель:
ЭЛКЕМ АСА (NO)

(72) Изобретатель:

Дьедонне Амели (FR), Клеван Оле
Свейн (NO)

(74) Представитель:

Медведев В.Н. (RU)

(57) Настоящее изобретение относится к сплаву на основе кремния, содержащему 45-95 мас.% Si; макс. 0,05 мас.% C; 0,4-30 мас.% Cr; 0,01-10 мас.% Al; 0,01-0,3 мас.% Ca; макс. 0,10 мас.% Ti; до 25 мас.% Mn; 0,005-0,07 мас.% P; 0,001-0,02 мас.% S; причем остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве, к способу получения указанного сплава и применению такого сплава.

A1

202092940

202092940

A1

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-566204EA/018

СПЛАВ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ, СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ТАКОГО СПЛАВА

Область техники

Настоящее изобретение относится к содержащему хром сплаву на основе кремния, способу его получения и применению такого сплава. Настоящее изобретение также относится к сплаву на основе кремния, содержащему хром и марганец, 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 повышения конечного качества стали. В частности, кремний повышает прочность и износостойкость, эластичность (пружинные стали), окислительную стойкость (жаропрочные стали) и снижает электропроводность и магнитострикцию (электротехнические стали). Примеры марок ферросилиция предшествующего уровня, произведенных компанией Elkem, приведены в таблице 1. Специальный ферросилиций, такой как LAI (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

Феррохром представляет собой сплав железа с хромом, причем уровень Cr, как правило, составляет 50-70 мас.% в зависимости от сорта.

Основной загрязняющий элемент в феррохромовых сплавах - углерод, который может составлять 0,03-9,5 мас.%. Примерами имеющихся в продаже сплавов Cr являются высокоуглеродистый феррохром (HC FeCr), как правило, имеющий содержание углерода до 8 мас.%, передельный феррохром (chCr) со стандартным содержанием углерода до 9,5 мас.%, среднеуглеродистый феррохром (MC FeCr) со стандартным содержанием углерода 1-2 мас.% и различные типы низкоуглеродистого феррохрома (LC FeCr), содержащие от макс. 0,1 мас.% C до макс. 0,03 мас.% C. Могут быть доступны и другие сплавы с

различным содержанием углерода до 9,5 мас.%. FeSiCr преимущественно применяют в качестве сырья при производстве LC FeCr, а также производители стали могут применять его непосредственно в качестве источника Si и Cr. Такой материал обычно имеет содержание Cr свыше 30 мас.% и содержание Si 30-50%, тогда как гарантированное содержание углерода может составлять до макс. 0,05%. Ниже в таблице 2 представлены примеры имеющихся в продаже феррохромовых и FeSiCr сплавов, применяемых в сталелитейной промышленности.

Таблица 2. Примеры имеющихся в продаже феррохромовых сплавов и сплавов FeSiCr (все в мас.%)

Сплав	Cr	C макс.	P макс.	Si макс.	S макс.	Поставщик
Передельный феррохром	Мин. 53	9,5	0,020	1,00	0,015	Metcoindia
HC FeCr	50-55	8,0	0,03	4,00	0,04	Metcoindia
MC FeCr	Мин. 53	2,0	0,028	0,5	0,03	Metcoindia
LC FeCr 0,10% C	Мин. 60	0,10	0,03	1,0	0,03	Metcoindia
LC FeCr 0,03% C	Мин. 60	0,03	0,03	1,0	0,03	Metcoindia
FeSiCr	31	0,10	0,03	47	0,02	Jayesh
FeSiCr33	Мин. 40	0,9	0,03	30,0-37,0	0,02	ProEnergTrading
FeSiCr40	Мин. 35	0,2	0,03	37,0-45,0	0,02	ProEnergTrading

Феррохром применяют главным образом в производстве нержавеющей стали в форме HC FeCr или chCr, поскольку сорта нержавеющей стали содержат мин. 10,5 мас.% Cr. Это минимальный уровень, необходимый для придания стали нержавеющих свойств. Многие другие сорта стали содержат добавки Cr, в основном в диапазоне от 0,5 мас.% до 2 мас.%, поскольку добавки Cr способствуют повышению твердости и окислительной стойкости. Примерами таких сталей являются инструментальная сталь, жаростойкие стали, высокопрочные стали. Производители стали стремятся использовать как можно больше сортов высокоуглеродистого феррохрома, поскольку они имеют самую низкую стоимость в расчете на единицу Cr. Однако в некоторых сферах применения необходимо использовать среднеуглеродистые и низкоуглеродистые сорта феррохрома, в частности при добавлении на последних стадиях процесса выплавки стали, когда необходимо точно контролировать содержание углерода.

Кроме того, марки стали обычно содержат Mn, как правило, в диапазоне 0,2-2 мас.%, поскольку марганец является легирующим элементом, который улучшает конечные свойства сталей, такие как жесткость и прочность. Следовательно, широкий диапазон сортов стали, таких как пружинная сталь и инструментальная сталь, одновременно содержит в качестве легирующих элементов и Cr, и Mn. Другим примером

являются сорта нержавеющей стали серии 200, в которых содержание Mn может достигать 10 или даже 15 мас.% при уровне Cr до 20 мас.%.

Примеры имеющихся в продаже сплавов Mn, используемых в производстве стали, представляют собой высокоуглеродистый ферромарганец (НС FeMn), обычно имеющий содержание углерода 6-8 мас.%, среднеуглеродистый ферромарганец (МС FeMn), обычно содержащий 1-2 мас.% углерода, и низкоуглеродистый ферромарганец (LC FeMn) с содержанием углерода около 0,5 мас.%. Кроме того, в продаже доступен электролитический марганец с содержанием С не более 0,04 мас.%. Могут быть доступны и другие сплавы с различным содержанием углерода до 8 мас.%. Следует также отметить, что самое низкое содержание углерода в сплавах Mn наблюдается в электролитическом марганце, процесс производства которого, как известно, связан с экологическими проблемами и требует больших затрат. Ниже в таблице 3 показаны примеры имеющихся в продаже марганцевых сплавов, применяемых в сталелитейной промышленности.

Таблица 3. Примеры имеющихся в продаже марганцевых сплавов (все в мас.%)

Сплав	Mn	С макс.	P макс.	Si макс.	S макс.	Поставщик
НС FeMn	Мин. 78	6,5-7,5	0,20	0,3	0,01	Eramet
МС 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

Таким образом, цель настоящего изобретения состоит в обеспечении нового сплава на основе кремния с низким содержанием углерода для применения в сталелитейной промышленности.

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

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

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.% С;

0,4-30 мас.% Cr;

0,01-10 мас.% Al;

0,01-0,3 мас.% Ca;

макс. 0,10 мас.% Ti;

до 25 мас.% Mn;

0,005-0,07 мас.% P;

0,001-0,02 мас.% S;

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 0,04-0,3 мас.% Mn.

В одном варианте осуществления сплав на основе кремния содержит 0,3-25 мас.% Mn.

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

Во втором аспекте настоящее изобретение относится к способу получения сплава на основе кремния, как определено выше, причем указанный способ включает обеспечение жидкого базового ферросилициевого сплава, добавление источника Cr и необязательно источника Mn в указанный жидкий ферросилиций с получением таким образом 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 добавленный источник Cr представлен в форме высокоуглеродистого феррохромового сплава, среднеуглеродистого феррохромового сплава, низкоуглеродистого феррохромового сплава, металлического Cr или их смеси.

В одном варианте осуществления добавленный источник Mn представлен в форме высокоуглеродистого ферромарганцевого сплава, среднеуглеродистого ферромарганцевого сплава, низкоуглеродистого ферромарганцевого сплава, металлического Mn или их смеси.

В одном варианте осуществления жидкий базовый ферросилициевый сплав содержит:

Si: 45-95 мас.%;

C: до 0,5 мас.%;

Al: до 2 мас.%;

Ca: до 1,5 мас.%;

Ti: до 0,1 мас.%;

Cr: до 0,4 мас.%;

Mn: до 0,3 мас.%;

P: до 0,02 мас.%;

S: до 0,005 мас.%;

остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве.

В одном варианте осуществления добавляют Al 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 стали.

Подробное описание изобретения

В настоящем изобретении обеспечен новый сплав на основе кремния с низким содержанием углерода и содержанием хрома до 30 мас.%. В настоящем изобретении также обеспечен новый сплав на основе кремния с низким содержанием углерода, содержанием хрома до 30 мас.% и содержанием марганца до 25 мас.%.

Сплав в соответствии с изобретением имеет следующую композицию:

Si: 45-95 мас.%;

C: макс. 0,05 мас.%;

Cr: 0,4-30 мас.%;

Ca: 0,01-0,3 мас.%;

Ti: макс. 0,10 мас.%;

P: 0,005-0,07 мас.%;

S: 0,001-0,02 мас.%;

Mn: до 25 мас.%;

Al: 0,01-10 мас.%;

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. При добавлении в расплав стали ферросилиций с 75 мас.% Si дает больший рост температуры, чем при добавлении 65 мас.% Si, который практически не оказывает влияния на температуру. В настоящее время в сталелитейной промышленности редко используют ферросилиций с менее чем 50 мас.% Si. Это означает, что для достижения целевого содержания Si в стали приходится добавлять большое количество сплава, из-за чего возникают проблемы при производстве стали. В настоящее время редко используют Si выше 80 мас.%, 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.%.

Хром, как правило, представляет собой примесь в производстве сплавов на основе кремния. Однако авторы изобретения неожиданно обнаружили, что при легировании сплава на основе кремния хромом в диапазоне 0,4-30 мас.% с сохранением низкого содержания углерода получается сплав с превосходными свойствами, особенно для использования в производстве марок стали, содержащих Si и Cr, в которых требуется низкое содержание углерода. Другими возможными диапазонами содержания Cr являются 1-25 мас.%, 1-20 мас.%, или 1-15 мас.%, или 2-10 мас.%.

В некоторых сферах применения было также обнаружено, что хорошим решением является высокое содержание Mn в сплаве на основе Si, содержащем Cr, при сохранении низкого содержания углерода. Таким образом, для некоторых областей применения повышение содержания Mn выше примесного уровня может оказаться преимущественным.

Марганец, как правило, является примесью при производстве сплавов на основе кремния, с содержанием, как правило, в диапазоне до 0,3 мас.%, например 0,04-0,3 мас.%. Настоящий сплав на основе кремния, содержащий хром, может содержать марганец в качестве легирующего элемента в диапазоне 0,3-25 мас.% при сохранении низкого содержания углерода. В результате получается сплав с отличными свойствами, в частности, для использования при производстве марок стали, требующих низкого содержания углерода. Другие подходящие диапазоны Mn составляют 1-20 мас.%, или 1-15 мас.%, или также 2-10 мас.%.

Углерод является основным нежелательным элементом в сортах стали, предназначенных для этого нового сплава, и в этом новом сплаве в соответствии с изобретением должно быть как можно меньше углерода. Максимальное содержание углерода в указанном сплаве составляет 0,05 мас.%. Возможно содержание C макс. 0,03 мас.% или макс. 0,02 мас.%, как в имеющихся в настоящее время в продаже низкоуглеродистых ферросилициевых сортах, или даже макс. 0,01 вес.%. Полное удаление углерода может оказаться затруднительным, поэтому в сплаве в соответствии с изобретением может в норме присутствовать 0,003 мас.% C.

При увеличении содержания хрома в сплаве содержание углерода в новом сплаве на основе кремния в соответствии с изобретением может составлять макс. 0,05 мас.%.

Соответственно, при увеличении содержания хрома и марганца в сплаве содержание углерода в новом сплаве на основе кремния в соответствии с изобретением может составлять макс. 0,05 мас.%.

Алюминий, как правило, является примесью при производстве сплава на основе кремния, обычно около 1 мас.% из печи в стандартном сорте. Для некоторых сталей, требующих очень низкого содержания алюминия, такой кремниевый сплав можно очищать от него до максимум 0,01 мас.%. В другие стали, такие как электротехнические

стали, в качестве легирующего элемента также добавляют алюминий. 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.%. Преимущественно диапазон содержания кальция составляет 0,01-0,1 мас.%, например макс. 0,05 мас.%. Если содержание кальция в исходном материале для производства сплава в соответствии с изобретением выше желаемого содержания кальция в указанном сплаве, кальций можно 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, в зависимости от смеси сырья. Однако в некоторых сортах стали низкое содержание титана часто дает некоторые преимущества и помогает избежать образования нежелательных включений. Таким образом, в некоторых сферах применения, например при производстве электротехнической стали, содержание титана (Ti) макс. 0,06 мас.%, или макс. 0,03 мас.%, или даже макс. 0,01 мас.% в новом сплаве в соответствии с изобретением является преимущественным. В сплаве в соответствии с изобретением могут присутствовать следы Ti, то есть минимальный уровень Ti может составлять 0,003 мас.%. Рафинирование от Ti в ковше может представлять собой сложную задачу, поэтому для получения низкого содержания титана требуется хорошая работа печи и выбор сырья.

Фосфор представляет собой одну из примесей в производстве сплавов на основе кремния, и его содержание в имеющихся в продаже сортах ферросплавов на основе кремния обычно составляет менее 0,03 мас.%. Сплавы Cr, как правило, содержат P на уровне, аналогичном диапазону содержания в сплавах на основе Si. Однако уровень P обычно гораздо выше в сплавах Mn, поэтому легирование Mn может приводить к более высокому содержанию P в конечном сплаве Si. Следовательно, уровень содержания P в настоящем изобретении составляет максимум 0,07 мас.%, но может снижаться до максимум 0,03 мас.%, например при отсутствии добавок Mn в сплаве на основе Si, содержащем хром. Важно отметить, что содержание P в стали, полученной при добавлении кремниевого сплава настоящего изобретения, будет таким же или немного ниже, чем при отдельном добавлении кремниевого сплава, хромового сплава и марганцевого сплава.

Содержание серы при получении кремниевых сплавов обычно низкое и в имеющихся в продаже сортах кремниевых сплавов обычно составляет менее 0,003 мас.%. Однако, содержание S обычно выше в сплавах Cr и немного выше в сплавах Mn, поэтому легирование хромом и/или марганцем может привести к повышению содержания S в

итоговом кремниевом сплаве в зависимости от целевого содержания Cr и Mn. Следовательно, уровень S в настоящем изобретении составляет максимум 0,02 мас.%. Важно отметить, что содержание S в стали, полученной при добавлении кремниевого сплава настоящего изобретения, будет таким же или немного ниже, чем при отдельном добавлении кремниевого сплава, хромового сплава и сплава Mn.

В одном варианте осуществления композиция сплава в соответствии с изобретением содержит:

Si: 64-78 мас.%;
C: макс. 0,03 мас.%;
Cr: 1-25 мас.%;
Ca: 0,01-0,05 мас.%;
Ti: макс. 0,06 мас.%;
P: 0,005-0,07 мас.%;
S: 0,001-0,02 мас.%;
Mn: 0,04-20 мас.%;
Al: 0,01-10 мас.%;

остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве.

В другом варианте осуществления композиция кремниевого сплава в соответствии с изобретением содержит ферросилиций, легированный Cr, без добавок Mn. Таким образом, Mn присутствует в виде примеси:

Si: 45-95 мас.%;
C: макс. 0,05 мас.%;
Cr: 0,4-30 мас.%;
Ca: 0,01-0,3 мас.%;
Ti: макс. 0,10 мас.%;
P: 0,005-0,03 мас.%;
S: 0,001-0,02 мас.%;
Mn: 0,04-0,3 мас.%;
Al: 0,01-10 мас.%;

остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве.

В другом варианте осуществления композиция кремниевого сплава в соответствии с изобретением содержит ферросилиций, легированный Cr, с добавками Mn. Таким образом, Mn присутствует в качестве легирующего элемента:

Si: 45-95 мас.%;
C: макс. 0,05 мас.%;
Cr: 0,4-30 мас.%;
Ca: 0,01-0,3 мас.%;
Ti: макс. 0,10 мас.%;
P: 0,005-0,07 мас.%;
S: 0,001-0,02 мас.%;

Mn: 0,3-25 мас.%;

Al: 0,01-10 мас.%;

остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве.

Сплав в соответствии с настоящим изобретением получают путем добавления источника Cr, содержащего углерод, в качестве легирующего элемента или примесного элемента в жидкий сплав на основе Si. Источник Cr может быть представлен в форме твердых или жидких источников хрома, в форме хромового ферросплава или металлического хрома или их смеси. Источник хрома может содержать обычные примеси/загрязнители. Источник хрома может представлять собой, например, феррохромовый сплав, такой как высокоуглеродистый феррохром, среднеуглеродистый феррохром, низкоуглеродистый феррохром, или металлический хром, или их смесь. Для использования в настоящем изобретении подходит имеющийся в продаже хромовый ферросплав, например, как указано выше в таблице 2, или комбинация из двух или более таких сплавов. Добавляемый Cr предпочтительно представлен в форме высокоуглеродистого феррохрома или среднеуглеродистого феррохрома.

Добавленный углерод из источника хрома 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 сформированных частиц SiC могут быть добавлены шлакообразующие. В результате получают сплав Si в соответствии с изобретением с низким содержанием углерода и с содержанием хрома согласно указанному выше диапазону содержания этих элементов.

Если в конечном продукте необходимо присутствие марганца (до 25%), в ковш можно добавлять твердые или жидкие источники марганца, а также Cr. Mn можно добавлять для корректирования содержания Mn в соответствии с диапазоном 0,3-25 мас.%. 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 имеющийся в продаже марганцевый сплав, например, как указано в таблице 3 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 таким же образом, как описано выше в отношении углерода, добавленного из источника хрома, 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 сформированных частиц SiC могут быть добавлены шлакообразующие. Таким способом получают сплав Si в соответствии с изобретением с низким содержанием углерода и с содержанием хрома и марганца согласно указанному выше диапазону содержания этих элементов.

Примером композиции для исходного материала может быть жидкий FeSi из печи, но в зависимости от конечной спецификации возможны и многие другие композиции. Другим возможным исходным материалом может быть продукт переплавки 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.%;

C: до 0,5 мас.%;

Al: до 2 мас.%;

Ca: до 1,5 мас.%;

Ti: до 0,1 мас.%;

Cr: до 0,4 мас.%;

Mn: до 0,3 мас.%;

P: до 0,02 мас.%;

S: до 0,005 мас.%;

остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве.

Если в конечном продукте необходимо присутствие алюминия (до 10%), в ковш можно добавлять твердые или жидкие источники алюминия. В альтернативном варианте осуществления количество алюминия в жидком ферросилиции из печи можно увеличивать путем выбора сырья для печи. Al можно добавлять до максимального содержания Al 10%.

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.

Представленный ниже пример иллюстрирует настоящее изобретение без ограничения его объема.

Пример 1

Ферросилиций выпускали обычным образом в ковш с донным перемешиванием воздухом. Количество жидкого ферросилиция составляло около 7800 кг. В таблице 4 показана химическая композиция исходного материала перед добавлением феррохрома.

Таблица 4. Химическая композиция исходного материала (мас.%)

	Al	Si	P	Ca	Ti	Mn	C	Cr
--	----	----	---	----	----	----	---	----

Исходный материал	0,42	67,57	0,008	0,075	0,057	0,11	0,015	0,17
--------------------------	------	-------	-------	-------	-------	------	-------	------

После выпуска из печи ковш перемещали в область легирования и литья. Затем в жидкий ферросилиций добавляли 401 кг крупнокускового HCFeCr, содержащего 67,61 мас.% Cr, 7,23 мас.% C, 0,92 мас.% Si и остаток в виде Fe и случайных примесей в обычном количестве, для обеспечения содержания Cr в конечном продукте 3 мас.%. Поскольку усвоение Cr было неизвестно, HCFeCr постепенно добавляли в 4 партии по 100 кг каждая в течение временного периода 8-10 мин до достижения целевого содержания Cr 3 мас.% (добавки можно вносить в течение более короткого или более длительного периода времени). В течение всего процесса добавления осуществляли донное перемешивание. После добавления сплавов HCFeCr образовавшиеся частицы SiC удаляли во время рафинирования, а ковш перемещали в область литья, в которой жидкий материал отливали в формы для литья чугуна.

После литья, на стадии предварительного измельчения, отбирали образец нового сплава в соответствии с изобретением. Результаты приведены в таблице 5.

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

Таблица 5. Анализ (мас.%) предварительно измельченного материала

	Al	Si	P	Ca	Ti	Mn	C	Cr
Итоговый анализ	0,27	65,49	0,007	0,035	0,056	0,13	0,007	2,94

С применением 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. таблицу 1).

Сплав в соответствии с изобретением представляет собой экономичную альтернативу существующим способам, состоящим в отдельном добавлении требуемых легирующих элементов Si и Cr в виде низкоуглеродистого ферросилиция в комбинации с феррохромовым сплавом, благодаря сокращению продолжительности процесса и повышению качества. С помощью указанного сплава производители стали могут также снижать общее содержание углерода в стали и добиться более низкого уровня, чем при отдельном добавлении ферросилиция/сплава на основе Si и хрома в форме низкоуглеродистого феррохрома. Кроме того, благодаря указанному сплаву производители стали смогут выпускать новые сорта с более высоким содержанием Cr и при этом сохранять низкое содержание углерода в стали с использованием только одной легирующей добавки.

Сплав в соответствии с изобретением также является экономически эффективной

альтернативой существующим способам, включающим отдельное добавление необходимых легирующих элементов Si, Cr и Mn в форме низкоуглеродистого ферросилиция в комбинации с феррохромовым и ферромарганцевым сплавами или металлическим марганцем, благодаря сокращению продолжительности процесса и повышению качества. С помощью указанного сплава производители стали могут также снижать общее содержание углерода в стали и достичь более низкого уровня, чем при отдельном добавлении ферросилиция/сплава на основе Si, хрома в форме низкоуглеродистого феррохромового сплава и марганца в форме низкоуглеродистого ферромарганцевого сплава или металлического марганца. Кроме того, благодаря указанному сплаву производители электротехнической стали могут выпускать новые сорта с более высоким содержанием Cr и более высоким содержанием Mn и при этом поддерживать 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;
0,4-30 мас.% Cr;
0,01-10 мас.% Al;
0,01-0,3 мас.% Ca;
макс. 0,10 мас.% Ti;
до 25 мас.% Mn;
0,005-0,07 мас.% P;
0,001-0,02 мас.% S;
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 0,04-0,3 мас.% Mn.
8. Сплав на основе кремния по любому из пп. 1-6, содержащий 0,3-25 мас.% Mn.
9. Сплав на основе кремния по любому из предшествующих пунктов, содержащий 1-20 мас.% Cr.
10. Способ получения сплава на основе кремния по любому из пп. 1-9, включающий обеспечение жидкого базового ферросилициевого сплава, добавление источника Cr и необязательно источника Mn в указанный жидкий ферросилиций с получением тем самым расплава и рафинирование указанного полученного расплава, причем рафинирование включает удаление образовавшихся частиц карбида кремния до и/или во время литья указанного расплава.
11. Способ по п. 10, в котором добавленный источник Cr представлен в форме высокоуглеродистого феррохромового сплава, среднеуглеродистого феррохромового сплава, низкоуглеродистого феррохромового сплава, металлического Cr или их смеси.
12. Способ по п. 10, в котором добавленный источник Mn представлен в форме высокоуглеродистого ферромарганцевого сплава, среднеуглеродистого ферромарганцевого сплава, низкоуглеродистого ферромарганцевого сплава, металлического Mn или их смеси.
13. Способ по любому из пп. 10-12, в котором жидкий базовый ферросилициевый сплав содержит:

Si: 45-95 мас.%;

C: до 0,5 мас.%;

Al: до 2 мас.%;

Ca: до 1,5 мас.%;

Ti: до 0,1 мас.%;

Cr: до 0,4 мас.%

Mn: до 0,3 мас.%;

P: до 0,02 мас.%;

S: до 0,005 мас.%;

остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве.

14. Способ по любому из пп. 10-13, в котором добавляют Al для корректирования содержания Al до 10 мас.%.
15. Применение сплава на основе кремния по любому из пп. 1-9 в качестве добавки при производстве стали.

16. Применение по п. 15 в процессе производства электротехнической стали.

По доверенности

**ИЗМЕНЕННАЯ ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ,
ПРЕДЛОЖЕННАЯ ЗАЯВИТЕЛЕМ ДЛЯ РАССМОТРЕНИЯ**

1. Сплав на основе кремния, содержащий
45-95 мас.% Si;
макс. 0,05 мас.% C;
1-20 мас.% Cr;
0,01-10 мас.% Al;
0,01-0,3 мас.% Ca;
макс. 0,10 мас.% Ti;
до 25 мас.% Mn;
0,005-0,07 мас.% P;
0,001-0,02 мас.% S;
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 0,04-0,3 мас.% Mn.
8. Сплав на основе кремния по любому из пп. 1-6, содержащий 0,3-25 мас.% Mn.
9. Способ получения сплава на основе кремния по любому из пп. 1-8, включающий обеспечение жидкого базового ферросилициевого сплава, содержащего
Si: 45-95 мас.%;
C: до 0,5 мас.%;
Al: до 2 мас.%;
Ca: до 1,5 мас.%;
Ti: до 0,1 мас.%;
Cr: до 0,4 мас.%;
Mn: до 0,3 мас.%;
P: до 0,02 мас.%;
S: до 0,005 мас.%;
причем остаток составляют Fe и случайные примеси в обычном количестве;
добавление источника Cr, содержащего углерод, и необязательно источника Mn в указанный жидкий ферросилиций с получением тем самым расплава и рафинирование указанного полученного расплава, причем рафинирование включает удаление образовавшихся частиц карбида кремния до и/или во время литья указанного расплава.

10. Способ по п. 9, в котором добавленный источник Cr представлен в форме высокоуглеродистого феррохромового сплава, среднеуглеродистого феррохромового сплава, низкоуглеродистого феррохромового сплава, металлического Cr или их смеси.

11. Способ по п. 9, в котором добавленный источник Mn представлен в форме высокоуглеродистого ферромарганцевого сплава, среднеуглеродистого ферромарганцевого сплава, низкоуглеродистого ферромарганцевого сплава, металлического Mn или их смеси.

12. Способ по любому из пп. 9-11, в котором добавляют Al для корректирования содержания Al до 10 мас. %.

13. Применение сплава на основе кремния по любому из пп. 1-8 в качестве добавки при производстве стали.

14. Применение по п. 13 в процессе производства электротехнической стали.

По доверенности