

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **201700549** (13) **A2**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2018.06.29**

(51) Int. Cl. *C21C 5/06* (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
**2017.12.05**

---

(54) **СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЙ ФЛЮС И СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ**

---

(31) **2016151579**

(32) **2016.12.27**

(33) **RU**

(71) Заявитель:

**ООО "ЭКОШЛАК-  
РЕЦИКЛИНГ" (RU)**

(72) Изобретатель:

**Паршин Валерий Михайлович,  
Шакуров Амир Галиевич, Чертов  
Александр Дмитриевич (RU)**

(74) Представитель:

**Шакуров А.Г. (RU)**

(57) Изобретение относится к черной металлургии и может быть использовано при производстве стали с использованием флюсов в качестве обрабатывающих реагентов. Сталеплавильный флюс, содержит мас. %: оксид кальция - основа; оксид алюминия - 5-25; диоксид кремния - 5-20; оксид магния - 4-15; оксиды железа - 0,1-2. Флюс подают в установку кристаллизации шлака для термической стабилизации путем ускоренного охлаждения в интервале температур 1600→600°C со скоростью 30-100°C/с, обеспечивающей кристаллизацию двухкальциевого силиката (C<sub>2</sub>S) в метастабильной фазе β<sub>L</sub> и получение кондиционного продукта кусковой формы фракции 5-70 мм и отсева фракции менее 5 мм. Изобретение позволяет получить флюс с низкой температурой плавления 1425-1465°C и высокой реакционной способностью, а также обеспечивает формирования первичного шлака, насыщенного оксидами кальция и железа, снижение негативного воздействия на окружающую среду за счет исключения образования отходов и выбросов фторсодержащих веществ, накопления и хранения шлака в отвалах.

**A2**

**201700549**

**201700549**

**A2**

### Сталеплавильный флюс и способ его получения и применения

Изобретение относится к черной металлургии и может быть использовано при производстве стали с использованием флюсов в качестве обрабатывающих реагентов.

Известен сталеплавильный флюс, получаемый способом стабилизации распадающегося (белого) рафинировочного ковшевого шлака внепечной обработки стали в установке ковш-печь [1] путем введения добавки оксида бора в виде природных минералов на основе бора, включая борную кислоту, буру, колеманит, боратовую руду и др. в количестве 0,5-1,5% от массы обрабатываемого шлака.

Недостатками известного флюса является использование борсодержащих компонентов для стабилизации шлака, содержащих попутно такие вредные примеси как сера, водород, натрий, мышьяк, кроме того, в колеманите содержится гипс, который в процессе обработки разлагается с выделением кристаллизационной влаги, сульфида кальция, элементарной серы и атомарных кислорода и водорода, которые взаимодействуют с металлом и снижают его качество, мышьяк может восстанавливаться в выплавляемом металле и снижать его качество, а также является ядовитым элементом.

Известно использование в качестве сталеплавильного флюса распадающегося ковшевого шлака с установки ковш-печь [2]. Способ получения флюса включает затвердевание шлакового расплава, распад, фракционирование с извлечением металла и окомкованием до фракции 5-20мм. Полученный окомкованный флюс добавляют вместе с извлеченным металлом в печь в количестве 3-8 кг/т. стали через 10-20 секунд после образования расплавленной ванны металла.

Недостатками сталеплавильного флюса и способа его получения являются отсутствие стабилизации шлака, приводящее к его распаду в мелкодисперсный порошок при затвердевании и необходимости просеивания, дробления и окомкования перед подачей в печь, что существенно усложняет процесс. При окомковании, как правило, используется вода, а наличие влаги в шлакообразующих компонентах сталеплавильной шихты приводит к перерасходу электроэнергии и повышению содержания водорода в стали. Возможность использования флюса в количестве 3-8 кг/т. стали по балансу производства стали не обеспечивает полный рециклинг распадающегося шлака, т.к. на стадии

внепечной обработки в установке ковш-печь объем образование шлака составляет 15-20кг/т.стали.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемым результатам к предлагаемому решению является сталеплавильный флюс, получаемый путем рециклинга распадающегося ковшевого шлака [3]. Способ предусматривает добавку белого шлака в жидком или твердом виде в расплавленную сталь. При этом жидкий белый шлак добавляют в расплавленную сталь, а распадающийся твердый охлаждают в шлаковне, дробят, просеивают и окомковывают до размера фракций 10-80мм. Шлак добавляют в расплавленную сталь в количестве не более 6 кг/т. стали при этом каждый добавленный кг/т. стали заменяет 0,5 кг/т. стали флюорита и 0,5кг/т. стали извести.

Недостатками известного решения являются сложность организации подачи жидкого шлака из сталеразливочного ковша в печь в период расплавления стали, что обусловлено типовыми конструктивными особенностями зданий сталеплавильных цехов и их грузопотоков и практически исключает использование метода при массовом промышленном производстве стали. Отсутствие стабилизации твердого белого шлака от внепечной обработки стали приводит к необходимости многостадийной его подготовки. Технологические операции охлаждения, дробления, просеивания и окомкования существенно удорожают процесс производства флюса. При окомковании, как правило, используется вода, а наличие влаги в шлакообразующих компонентах сталеплавильной шихты приводит к перерасходу электроэнергии и повышению содержания водорода в стали. Кроме того, использование белого шлака в количестве не более 6 кг/т. стали не обеспечивает его полный рециклинг, а замена в общей сложности только 3 кг/т стали флюорита и 3 кг/т стали извести не дает значимого экономического эффекта.

В основу изобретения поставлена задача создания сталеплавильного флюса с высоким содержанием оксидов кальция, обладающего низкой температурой плавления 1350-1465<sup>o</sup>C и высокой реакционной способностью, обеспечивающего формирование первичного шлака для интенсификации сталеплавильных процессов плавления, окисления, дефосфорации и рафинирования стали в печи и снижение потребления таких сырьевых ресурсов как известь, известняк, доломит и флюорит, а также способа получения такого флюса с низкой себестоимостью и отсутствием негативного воздействия на окружающую среду за счет исключения образования отходов.

Ожидаемым техническим результатом изобретения являются:

- Обеспечение технологических режимов производства сталеплавильного флюса с низкой температурой плавления и высокой реакционной способностью:

- интенсификация процессов плавления, окисления, дефосфорации и рафинирования стали в печи при использовании флюса;
- снижение потребления извести, известняка, доломита и флюорита;
- снижение себестоимости производства флюса;
- снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Поставленная задача решается тем, что сталеплавильный флюс, содержащий оксиды кальция, магния, железа, алюминия и диоксид кремния, представляет собой термически стабилизированный ковшевой шлак (ТСКШ) фракции 5-70мм, средний минералогический состав которого соответствует твердым растворам на основе двухкальциевого силиката  $\beta$ -модификации ( $\beta$ - $C_2S$ ), алюмината кальция ( $C_{12}A_7$ ), и шпинели ( $MgA$ ) и/или периклаза ( $MgO$ ) и содержит указанные компоненты при следующем соотношении оксидов, мас. %:

|                 |           |
|-----------------|-----------|
| Оксид кальция   | Основа    |
| Оксид алюминия  | 5 – 25    |
| Диоксид кремния | 5 – 20    |
| Оксид магния    | 4 – 15    |
| Оксиды железа   | 0,1 – 2,0 |

Способ получения сталеплавильного флюса, включает подачу сырьевых компонентов, их обработку и выделение целевого продукта, при этом сырьем является расплав ковшевого шлака, который термически стабилизируют в установке кристаллизации шлака путем ускоренного охлаждения в интервале температур  $1600 \rightarrow 600^\circ C$  со скоростью  $30-100^\circ C/сек.$  обеспечивающей кристаллизацию двухкальциевого силиката ( $C_2S$ ) в метастабильной фазе  $\beta_1$  и получение кондиционного продукта кусковой формы фракции 5-70мм.

Способ применения сталеплавильного флюса включает добавку флюса в сталеплавильную печь в количестве 15-20кг/т стали в завалку с металлошихтой и/или в процессе расплавления металлошихты, при этом 1 кг/т стали флюса замещает 0,3-1,0 кг/т стали извести и флюорита.

Сталеплавильный флюс фракции менее 5 мм пригоден для использования в качестве основного исходного материала для изготовления крупнокускового флюса

способом брикетирования, с добавлением отсева извести и/или известняка при следующем содержании компонентов шихты, мас. %:

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| Флюс фракции менее 5мм         | 50 – 80 |
| Отсев извести и/или известняка | 20 – 50 |

Сталеплавильный флюс фракции менее 5 мм также может использоваться в качестве добавки к основному связующему в шихту для изготовления брикетированного известково-железистого флюса (ИЖФ), который содержит пыль газоочистки и окалина при следующем содержании компонентов шихты, мас. %:

|                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| Пыль газоочистки                      | 10 – 30 |
| Окалина                               | 70 – 90 |
| Флюс фракции менее 5мм,<br>сверх 100% | 3 – 5   |
| Основное связующее, сверх<br>100%     | 2 – 4   |

Причинно-следственная связь между совокупностью существенных признаков заявляемого способа и достигаемым техническим результатом заключается в следующем.

- Низкая температура плавления и высокая реакционная способность сталеплавильного флюса достигаются за счет минералогического состава который представлен эвтектикой твердых растворов на основе двухкальциевого силиката ( $\beta$ - $C_2S$ ), алюмината кальция ( $C_{12}A_7$ ) и шпинели ( $MgA$ ) и/или периклаза ( $MgO$ ) с температурой плавления 1425-1465 $^{\circ}C$  при указанном соотношении оксидов.

- Интенсификация процессов плавления, окисления, дефосфорации и рафинирования стали в печи достигается за счет легкоплавких свойств флюса, способствующих ускоренному формированию первичного шлака, насыщенного оксидами кальция и железа, обеспечивающего благоприятные условия для удаления фосфора, усвоения извести и сокращение периода расплавления металлошихты, и соответственно, плавки в целом.

- Снижение расхода извести, известняка, доломита и плавикового шпата в печи достигается при эквивалентной замене  $CaO$  извести на  $CaO$  флюса в пропорции от 1:3 до 1:1, и повышении степени усвоения извести за счет быстрого растворения легкоплавкого флюса эвтектического состава, что способствует быстрому формированию

первичного шлака с высокой жидкоподвижностью, в котором известь растворяется быстрее и применение флюорита для разжижения шлака не требуется.

- Снижение себестоимости производства сталеплавильного флюса достигается за счет применения в качестве сырья расплава ковшевого шлака и способа его переработки с минимальными затратами человеческих, энергетических и материальных ресурсов непосредственно из расплава в кондиционную продукцию фракции 5-70мм путем термической стабилизации расплава в интервале температур 1600 → 600°C со скоростью охлаждения 30-100°C/сек, обеспечивающей кристаллизацию двухкальциевого силиката ( $C_2S$ ) в  $\beta_1$ -модификации.

- Снижение негативного воздействия на окружающую среду достигается за счет исключения образования отходов и выбросов фторсодержащих веществ при замене флюорита на флюс, исключения пылеобразования, накопления и хранения распадающегося ковшевого шлака в отвалах, а также снижения выбросов  $CO_2$  при снижении потребления и производства извести.

Сушность предложенного решения заключается в получении необходимых термодинамических свойств и параметров сталеплавильного флюса, имеющего химический состав, мас. %: оксид кальция 45–65; оксид алюминия 5–25; оксид кремния 5 – 20; оксид магния 4–15; оксиды железа общее 0,1–2,0, и средний минералогический состав которого представлен эвтектикой твердых растворов на основе двухкальциевого силиката ( $\beta-C_2S$ ), алюмината кальция ( $C_{12}A_7$ ) и шпинели ( $MgA$ ) и/или периклаза ( $MgO$ ) и получен путем термической стабилизации расплава ковшевого шлака, обеспечивающей кристаллизацию двухкальциевого силиката ( $C_2S$ ) в  $\beta_1$ -модификации не подверженной силикатному распаду. Исходным сырьем для сталеплавильного флюса являются ковшевые шлаки, химический состав которых в указанных диапазонах содержания оксидов соответствует технологическим режимам внепечной обработки при производстве любых марок стали. Таким образом, весь ковшевой шлак текущего производства может быть подвержен термической стабилизации и в режиме полного рециклинга использоваться в качестве сталеплавильного флюса при выплавке стали.

Шлаковый расплав с наличием двухкальциевого силиката  $C_2S$  можно закристаллизовать в метастабильной фазе  $\beta_1$ , путем быстрого охлаждения в интервале температур 1600-600°C при фазовом превращении из  $\alpha'$ -фазы в  $\beta_1$ -фазу, не переходящую в дальнейшем в  $\gamma$ -фазу. Затвердевание шлакового расплава, формирование крупности затвердевшего шлака осуществляют в межшаровом пространстве металлических шаров в момент заливки и вращения установки кристаллизации шлака. Это является процессом

термической стабилизации. В результате термической стабилизации получают кондиционный продукт фракции 5-70мм, с низкой температурой плавления 1350-1450°C.

Сталеплавильный флюс фракции менее 5 мм используют в качестве основного исходного материала для изготовления крупнокускового флюса способом брикетирования, с добавлением отсева извести и/или в качестве добавки к основному связующему в шихту для изготовления брикетированного известково-железистого флюса (ИЖФ), который содержит пыль газоочистки и окалину.

Сталеплавильный флюс фракции 5-70мм и брикеты на его основе или связке подают в сталеплавильную печь в завалку с металлошихтой и/или в начальный период плавления для обеспечения раннего формирования высокоосновного жидкоподвижного первичного шлака, способствующего быстрому усвоению извести и интенсификации процессов плавления, окисления, дефосфорации и рафинирования стали.

Сталеплавильные ковшевые шлаки образуются при обработке стали на установке ковш-печь и относятся, к так называемым, распадающимся шлакам. В распадающихся шлаках основными минералами являются соединения силикатов, а именно, двухкальциевый силикат ( $C_2S$ ), при охлаждении которого в температурном интервале с 1425°C до 500°C происходят полиморфные превращения, причем завершающее фазовое превращение из  $\beta$ -фазы в  $\gamma$ -фазу происходит в интервале 630-500°C с увеличением объема кристаллической решетки на 12%. Охлаждение шлака в естественных условиях сопровождается силикатным распадом и затвердевший продукт превращается в мелкодисперсный порошок. Наличие в составе шлака свободного оксида кальция  $CaO$  (неусвоенной извести) после затвердевания расплава приводит к его гидратации, в результате которой продукт увеличивается в объеме и разрушается, происходит известковый распад. Кроме того, в ковшевых шлаках всегда содержатся металлические включения, которые обычно выделяют с помощью магнитной сепарации в виде металлического скрапа.

С целью предотвращения процесса самораспада ковшевого шлака возможна и иногда применяется в промышленности его стабилизация химическим и термическим способами. Химическая и кристаллохимическая стабилизация воздействуют на изменение исходного состава ковшевого шлака путем введения в расплав специальных стабилизирующих добавок на основе оксидов алюминия, кремния, бора, фосфора и др. Насыщение ковшевого шлака оксидами алюминия и кремния приводит к уменьшению его основности, к уменьшению содержания фазы двухкальциевого силиката ( $C_2S$ ) и, следовательно, к снижению его металлургических свойств при использовании в печи в

качестве сталеплавильного флюса. Введение оксидов бора для замещения ионов  $\text{Ca}^{2+}$  ионами  $\text{B}^{3+}$  в решетке ( $\text{C}_2\text{S}$ ) и предотвращения силикатного распада при использовании шлака в печи сопровождается переходом бора в сталь, наличие которого является вредным фактором для большинства марок стали и футеровки печи. Повышение фосфора в шлаке негативно влияет на процесс дефосфорации металла в печи.

Термическая стабилизация подразумевает закалочное охлаждение расплава без изменения исходного химического состава шлака и сохранение его металлургических свойств. Формирование структуры продукта из расплава зависит от химического состава и скорости охлаждения расплава. Последовательность формирования кристаллической структуры из расплава в зависимости от химического состава при равновесии всех фаз соответствует температурам плавления и режимам охлаждения основных минералов. При резком увеличении скорости охлаждения процесс кристаллизации смещается в сторону образования новых фаз в отличие от равновесных условий кристаллизации.

Исходя из этого, флюс получают на основе термически стабилизированного ковшевого шлака (ТСКШ) в установках кристаллизации шлака путем закалки расплава в интервале температур  $1600 \rightarrow 600^\circ\text{C}$  со скоростью охлаждения  $30-100^\circ\text{C}/\text{сек}$ , обеспечивающей кристаллизацию двухкальциевого силиката ( $\text{C}_2\text{S}$ ) в  $\beta_1$ -модификации, не переходящей в дальнейшем в  $\gamma$ -фазу. Полученный таким способом флюс обладает низкой температурой плавления  $1350-1450^\circ\text{C}$  и высокой реакционной способностью его растворения в сталеплавильных шлаковых расплавах.

Охлаждение расплава проводят в интервале температур  $1600 \rightarrow 600^\circ\text{C}$  с целью завершения всех фазовых превращений двухкальциевого силиката в заданном интервале. При температуре  $1425^\circ\text{C}$  происходит фазовый переход  $\alpha \rightarrow \alpha_{II}$ , затем при температуре  $1160^\circ\text{C}$  происходит превращение  $\alpha_{II} \rightarrow \alpha_I$ , а фаза  $\alpha_I$  в свою очередь при температуре ниже  $700^\circ\text{C}$  переходит в  $\beta$ -фазу, при этом в зависимости от скорости охлаждения образуется либо низкотемпературная форма  $\beta_I$  ( $630-620^\circ\text{C}$ ), которая стабилизируется и не переходит при дальнейшем охлаждении в  $\gamma$ -фазу, либо высокотемпературная форма  $\beta_{II}$  ( $680-630^\circ\text{C}$ ), которая при температуре ниже  $500^\circ\text{C}$  переходит в  $\gamma$ -фазу с увеличением объема кристаллической решетки на 12% и распадом шлака в мелкодисперсный порошок. Поэтому важным условием получения сталеплавильного флюса является режим охлаждения шлакового расплава в интервале температур  $1600 \rightarrow 600^\circ\text{C}$ .

Опытным путем установлены оптимальные режимы охлаждения расплава в диапазоне скоростей  $30-100^\circ\text{C}/\text{сек}$ , обеспечивающие необходимое переохлаждение

расплава для кристаллизации с получением двухкальциевого силиката в низкотемпературной форме  $\beta_1$  (630-620°C) и стабилизации шлака от дальнейшего распада.

Проведенные испытания режимов охлаждения для обеспечения термической стабилизации ковшевых шлаков показали, что при охлаждении со скоростью менее 30°C/сек необходимое переохлаждение расплава не обеспечивается, шлак стабилизируется не в полном объеме и наблюдается частичный его распад. Охлаждение расплава со скоростью более 100°C/сек требует существенного увеличения расхода охладителей и энергоресурсов для поддержания заданной скорости охлаждения, что приводит к удорожанию технологического процесса и капитальных затрат на оборудование.

При высоком содержании оксидов кальция и наличии оксидов кремния и алюминия в присутствии оксидов магния при ускоренном охлаждении образуются твердые растворы двухкальциевого силиката ( $C_2S$ ), алюмината кальция ( $C_{12}A_7$ ) и шпинели ( $MgA$ ) и/или периклаза ( $MgO$ ), имеющие эвтектический состав с низкой температурой плавления 1350-1465°C. Термодинамические исследования сталеплавильного флюса на основе ТСКШ показали, что температура плавления образцов флюса, в обычных условиях производства при диапазонах содержания оксидов мас. %: кальция 50-60, кремния 8-13, алюминия 12-20, магния 4-6, находится в пределах 1425-1465°C при суммарном эндотермическом эффекте 15-20 Дж/г и расходе энергии на расплавление 4-5 кВтч/т. Для сравнения, температура плавления извести превышает 2600°C, а расход энергии на ее расплавление составляет 667 кВтч/т. Таким образом, добавка сталеплавильного флюса в количестве 15-20 кг/т стали для частичной замены извести и флюорита не приводит к увеличению расхода электроэнергии, а наоборот, обеспечивает снижение расхода электроэнергии за счет более низкой температуры плавления флюса и на порядок меньшей энтальпии.

Для получения сталеплавильного флюса и снижения себестоимости в сравнении с прототипом используются менее затратные переделы производства:

- при подготовке сырьевой смеси исключаются энергозатратные переделы с дроблением, рассевом, сепарацией и усреднением, используется ускоренное охлаждение жидкого шлака;

- перед подачей в печь исключается этап окомкования флюса, получаемый флюс имеет заданный фракционный состав 5-70 мм.

При типовой технологии выплавки стали шихта состоит, как правило, из стального лома, легированных отходов, чугуна, железорудного сырья, шлакообразующих, флюса, раскислителей и науглероживателей. Для процессов дефосфорации в окислительный

период плавки требуется наведение высокоосновного низковязкого шлака с содержанием оксидов железа не менее 25%. Твердые окислители, такие как железная руда, агломерат, окатыши и шлакообразующие, такие как известь и/или известняк используют для интенсификации процессов окисления кремния, марганца, углерода, фосфора и др. Флюорит применяют для ускорения шлакообразования и повышения жидкоподвижности шлака. Расход извести составляет 45-55 кг/т. стали, флюорита 0,5-2,5кг/т. стали. К недостаткам типовой технологии выплавки стали относятся:

- избыточный расход шлакообразующих материалов, извести и/или известняка, поскольку они не полностью растворяются и остаются в шлаке в виде неусвоенной извести (CaO), которая в конечном итоге гидратирует в течение длительного времени в процессе вылеживания сталеплавильных шлаков в отвалах. Это обстоятельство не позволяет из сталеплавильных шлаков получать кондиционную продукцию без их вылеживания в отвалах;

- применение дефицитного и дорогостоящего флюорита (фторида кальция  $\text{CaF}_2$ ) для повышения жидкоподвижности шлака, негативно влияет на окружающую среду ввиду наличия соединений фтора;

- удорожание процесса выплавки стали в результате использования и перерасхода дорогостоящих сталеплавильных флюсов.

Использование сталеплавильного флюса на основе ТСКШ при выплавке стали в печах (конвертер или электропечь) способствует более раннему формированию высокоосновного жидкоподвижного первичного шлака, быстрому усвоению извести, снижению расхода извести на 10-30%, исключению добавок флюорита, интенсификации процессов расплавления и окисления, в том числе дефосфрации, сокращению периода плавки и расхода электроэнергии. Сталеплавильный флюс на основе ТСКШ пригоден для выплавки всех марок сталей.

Таким образом, заявляемое изобретение соответствует критерию "новизна".

При анализе на соответствие критерию "изобретательский уровень" не обнаружено источников информации, указывающих на известность предложенных технологических решений по функциональному назначению и поставленной задаче.

Предложенное решение может быть реализовано в промышленности, а ожидаемый технический результат вытекает из совокупности существенных признаков изобретения, что свидетельствует о соответствии критерию "промышленная применимость".

Использование сталеплавильного флюса реализуется следующим образом.

После окончания разливки стали на МНЛЗ сталеразливочный ковш с остатками шлака и металла кантуют в установку кристаллизации шлака для термической стабилизации расплава в интервале температур  $1600 \rightarrow 600^\circ\text{C}$  со скоростью  $30-100^\circ\text{C}/\text{сек.}$  обеспечивающей кристаллизацию двухкальциевого силиката ( $\text{C}_2\text{S}$ ) в  $\beta_1$ -модификации. Полученный флюс фракции 5-70мм подвергают или не подвергают магнитной сепарации и вместе с металлокrapом задают в сталеплавильную печь в количестве 15-20 кг/т. В печи формируется высокоосновный жидкоподвижный первичный шлак, который способствует быстрому усвоению извести, снижению ее расхода, интенсификации процессов расплавления и окисления, в том числе дефосфрации, сокращению периода плавки и расхода электроэнергии.

Отсев сталеплавильного флюса фракции менее 5 мм после брикетирования с добавлением отсева извести, пыли газоочистки и окалины для изготовления крупнокускового известково-железистого флюса (ИЖФ) также может использоваться в сталеплавильной печи вместе с металлокrapом в количестве 5-10 кг/т.

Конкретные примеры применения сталеплавильного флюса при выплавке стали в электропечи.

В качестве базы для сравнения эффективности применения сталеплавильного флюса на основе ТСКШ приняты средние результаты 243 стандартных плавов в электропечи емкостью 160 т. (по жидкой стали): завалка металлошихты и 1 подвалка, плавление-окисление 35 мин., рафинирование 15 мин. и выпуск стали 4 мин. подача 7.0т. извести и 0.4 т флюорита в период плавления и 1.5т. извести в период рафинирования. Общая продолжительность плавки 54 мин. общий расход извести 8.5 т. расход флюорита 0.4 т, удельный расход электроэнергии 433 кВтч/т. стали, извести 53,12 кг/т. стали, флюорита 2.5 кг/т. стали.

По предложенному способу проведены серии опытных плавов на средне- и низкоуглеродистом сортаменте стали, где флюорит и часть извести заменяли флюсом на основе ТСКШ в соотношении от 1:3 до 1:1 и плавку вели следующим образом:

1. В электропечь емкостью 160 т. (по жидкой стали) вместе с завалкой металлолома подают 2.5 т флюса, содержащего мас.% 54 оксида кальция, 6 оксида магния, 11 оксида кремния и 23 оксида алюминия. В период плавления присаживают 6.0т. извести и 0.5т. флюса и в период рафинирования 1.5т. извести. Получены следующие средние результаты серии из 39 опытных плавов при замене извести и флюорита в соотношении 1:3. Общая продолжительность плавки 53 мин., общий расход извести 7.5 т., расход флюорита 0 т. расход флюса 3.0 т., удельный расход энергии 404 кВтч/т., извести 46,87

кг/ т. стали, флюорита 0 кг/т. стали, флюса 18.75 кг/т. стали, всего шлакообразующих 65.6 кг/т. стали.

2. В электропечь емкостью 160 т. (по жидкой стали) вместе с завалкой металлолома подают 3.0 т флюса, содержащего мас.% 52 оксида кальция, 6 оксида магния, 8 оксида кремния и 29 оксида алюминия. В период плавления присаживают 6.4т. извести и в период рафинирования 0,6т. извести. Получены следующие средние результаты серии из 44 опытных плавки при замене извести и флюорита в соотношении 1:2. Общая продолжительность плавки 52 мин. общий расход извести 7.0 т. расход флюорита 0 т. расход флюса 3.0 т. удельный расход энергии 411 кВтч/т. извести 43.75 кг/т. стали, флюорита 0 кг/т. стали, флюса 18.75 кг/т. стали, всего шлакообразующих 62.5 кг/т. стали.

3. В электропечь емкостью 160 т. (по жидкой стали) вместе с завалкой металлолома подают 2.5 т флюса, содержащего мас.% 56 оксида кальция, 5 оксида магния, 13 оксида кремния и 19 оксида алюминия. В период плавления присаживают 4.5т. извести и в период рафинирования 1,5т. извести. Получены следующие средние результаты серии из 42 опытных плавки при замене извести и флюорита в соотношении 1:1. Общая продолжительность плавки 52 мин., общий расход извести 6.0 т. расход флюорита 0 т. флюса 2.5 т., удельный расход энергии 409 кВтч/т., извести 37.5 кг/ т. стали, флюорита 0 кг/т. стали, флюса 15,62 кг/т. стали, всего шлакообразующих 53,12 кг/т. стали.

Обобщенные показатели плавки по результатам опробования приведены в таблице.

Как видно из таблицы, применение предложенного способа по сравнению со стандартной плавкой в электропечи обеспечило снижение времени плавки на 3,5% (1-2 мин.) и расхода извести на 15кг/т. стали, при этом экономия извести составила до 30% с коэффициентом замены 1,0. при сохранении основности не менее 2,2. Сокращение расхода электроэнергии на плавку составило 4-6% (22-29 кВтч/т. стали).

Экономия извести и флюорита в печи ведет к прямому снижению себестоимости производства стали. Так, по ценам 2016г. цена свежесожженной извести составляет 4 руб./кг. флюорита 16 руб./кг. а себестоимость производства флюса 0.5 руб./кг. Замена 15 кг/т стали извести и 2.5 кг/т стали флюорита на 20 кг/т. флюса дает экономию:  $60 + 40 - 10 = 90$  руб./т. стали. При производстве 1 млн.тонн стали экономия составит 90 млн.руб. без учета снижения затрат на охрану окружающей среды при хранении шлака в отвалах и экологического эффекта.

Литература:

1. Патент РФ №2539228 МПК С21С 5/06 публ. от 20.01.2015г. Бюл. №2.

2. Патент Китая № CN102337379 А, МПК С21С7/076, С21В3/06 публ. 01.02.2012
3. Патент Китая № CN104404176 А, МПК С21В3/04, С21С7/076 публ. 01.03.2015

Таблица. Полученные результаты опытных плавов, проведенных в электропечи 160-т по предлагаемому техническому решению и по способу, принятому за прототип.

| Вариант<br>осуществления<br>способа | Расход материалов*, т/плавку (кг/т) |             |             |            |               |      | Основность шлака<br>СаО/SiO <sub>2</sub> в начале<br>плавки | Кэф-т<br>замены<br>извести | Расход извести.<br>кг/т<br>(Экономия<br>извести. %) |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|------------|---------------|------|---|----------------------------|---|
|                                     | Период                              |             |             |            |               |      |   |                            |   |
|                                     | В завалку                           |             | Плавление   |            | Рафинирование |      |   |                            |   |
|                                     | И                                   | Флюс        | И           | Флюс       | И             | Флюс |   |                            |   |
| Стандартная<br>плавка               | 0                                   | 0           | 7.0 (43.75) | 0          | 1.5 (9.37)    | 0    | 2.2   | 0                          | 53.1<br>(0)   |
| Предложенный<br>способ              | 0                                   | 2.5 (16.6)  | 6.0 (37.5)  | 0.5 (3.12) | 1.5 (9.37)    | 0    | 2.2   | 0.3                        | 46.9<br>(11.7)                                      |
|                                     | 0                                   | 3.0 (18.75) | 6.4 (40.0)  | 0          | 0.6 (3.75)    | 0    | 2.1   | 0.5                        | 43.7<br>(17.6)                                      |
|                                     | 0                                   | 2.5 (16.6)  | 4.5 (28.12) | 0          | 1.5 (9.37)    | 0    | 2.1   | 1.0                        | 37.5<br>(29.4)                                      |

\* И – известь. Флюс – сталеплавильный флюс .

### Формула изобретения:

1. Сталеплавильный флюс, содержащий оксиды кальция, магния, железа, алюминия и диоксид кремния, отличающийся тем, что он представляет собой термически стабилизированный ковшевой шлак, средний минералогический состав которого соответствует твердым растворам на основе двухкальциевого силиката  $\beta$ -модификации ( $\beta$ - $C_2S$ ), алюмината кальция ( $C_{12}A_7$ ), и шпинели ( $MgA$ ) и/или перикла ( $MgO$ ) и содержит указанные компоненты при следующем соотношении оксидов, мас. %:

|                 |           |
|-----------------|-----------|
| Оксид кальция   | Основа    |
| Оксид алюминия  | 5 – 25    |
| Диоксид кремния | 5 – 20    |
| Оксид магния    | 4 – 15    |
| Оксиды железа   | 0.1 – 2.0 |

2. Способ получения сталеплавильного флюса, включающий подачу сырьевых компонентов, их обработку и выделение кондиционного продукта, отличающийся тем, что в качестве сырьевых компонентов используют расплав ковшевого шлака, при следующем соотношении оксидов, мас. %:

|                 |           |
|-----------------|-----------|
| Оксид кальция   | Основа    |
| Оксид алюминия  | 5 – 25    |
| Диоксид кремния | 5 – 20    |
| Оксид магния    | 4 – 15    |
| Оксиды железа   | 0.1 – 2.0 |

который термически стабилизируют в установке кристаллизации шлака путем ускоренного охлаждения в интервале температур  $1600 \rightarrow 600^\circ C$  со скоростью  $30-100^\circ C/c$ , обеспечивающей кристаллизацию двухкальциевого силиката ( $C_2S$ ) в метастабильной фазе  $\beta_1$  и получение кондиционного продукта кусковой формы фракции 5-70мм и отсева фракции менее 5 мм.

3. Способ по п.2, отличающийся тем, что к отсеву фракций менее 5мм добавляют отсев извести и/или известняка и брикетируют при содержании компонентов шихты, мас. %:

|   |         |
|---|---------|
| Отсев сталеплавильного флюса фракции<br>менее 5мм | 50 – 80 |
| Отсев извести и/или известняка                    | 20 – 50 |

4. Способ выплавки стали в сталеплавильной печи, включающий добавку флюса в завалку с металлошихтой и/или в процессе расплавления металлошихты, расплавление шихты, окисление, дефосфорацию и рафинирование стали, отличающийся тем, что используют сталеплавильный флюс по п. 1.