

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2757511

Способ выплавки стали в дуговой электросталеплавильной печи

Патентообладатель: *Публичное акционерное общество «Северсталь» (ПАО «Северсталь»)* (RU)

Авторы: *Бармин Артем Борисович (RU), Краснов Алексей Владимирович (RU), Паюсов Олег Игоревич (RU), Шерстнев Владимир Александрович (RU), Возчиков Андрей Петрович (RU), Борисова Татьяна Викторовна (RU), Демидов Константин Николаевич (RU), Носенко Владимир Игоревич (RU), Филатов Александр Николаевич (RU)*

Заявка № 2021112962

Приоритет изобретения 05 мая 2021 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 18 октября 2021 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 05 мая 2041 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
C21C 5/52 (2021.05)

(21)(22) Заявка: 2021112962, 05.05.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.05.2021

Дата регистрации:
18.10.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 05.05.2021

(45) Опубликовано: 18.10.2021 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

162608, Вологодская обл., г. Череповец, ул.
Мира, 30, ПАО "Северсталь", Дирекция по
техническому развитию и качеству

(72) Автор(ы):

Бармин Артем Борисович (RU),
Краснов Алексей Владимирович (RU),
Паюсов Олег Игоревич (RU),
Шерстнев Владимир Александрович (RU),
Возчиков Андрей Петрович (RU),
Борисова Татьяна Викторовна (RU),
Демидов Константин Николаевич (RU),
Носенко Владимир Игоревич (RU),
Филатов Александр Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Публичное акционерное общество
«Северсталь» (ПАО «Северсталь») (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2543658 C1, 10.03.2015. RU
2645170 C1, 16.02.2018. RU 2278168 C1,
20.06.2006. CN 102719726 A, 10.10.2012. US
5397379 A1, 14.03.1995.

(54) Способ выплавки стали в дуговой электросталеплавильной печи

(57) Реферат:

Изобретение относится к области черной металлургии, в частности к выплавке стали в дуговой электросталеплавильной печи. Осуществляют подачу в печь в качестве металлошихты металлолома и жидкого чугуна, расплавление металлолома, присадку шлакообразующих известковых и магнезиального материалов, продувку кислородом, ввод коксового порошка, выпуск плавки, при этом после заливки жидкого чугуна в качестве магнезиального материала присаживают

бруситсодержащий флюс, состоящий на 70-95 масс. % из гидроксида магния и 5-30 мас. % примесей, с расходом, изменяющимся в зависимости от доли жидкого чугуна на плавку, в количестве 1-3 кг/т стали на каждые 10 % заливаемого чугуна от массы металлошихты. Изобретение позволяет снизить содержание фосфора в металле, сократить износ футеровки печи и расход материалов для горячего ремонта. 2 з.п. ф-лы, 1 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
C21C 5/52 (2021.05)

(21)(22) Application: **2021112962, 05.05.2021**

(24) Effective date for property rights:
05.05.2021

Registration date:
18.10.2021

Priority:

(22) Date of filing: **05.05.2021**

(45) Date of publication: **18.10.2021 Bull. № 29**

Mail address:

**162608, Vologodskaya obl., g. Cherepovets, ul.
Mira, 30, PAO "Severstal", Direktsiya po
tehnicheskomu razvitiyu i kachestvu**

(72) Inventor(s):

**Barmin Artem Borisovich (RU),
Krasnov Aleksej Vladimirovich (RU),
Payusov Oleg Igorevich (RU),
Sherstnev Vladimir Aleksandrovich (RU),
Vozchikov Andrej Petrovich (RU),
Borisova Tatyana Viktorovna (RU),
Demidov Konstantin Nikolaevich (RU),
Nosenko Vladimir Igorevich (RU),
Filatov Aleksandr Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Publichnoe aktsionernoe obshchestvo
«Severstal» (PAO «Severstal») (RU)**

(54) **STEELMAKING METHOD IN ELECTRIC ARC FURNACE**

(57) Abstract:

FIELD: ferrous metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to the field of ferrous metallurgy, in particular to steel melting in electric arc furnace. Scrap metal and liquid cast iron are fed into the furnace as a metal charge, scrap metal is melted, slag-forming lime and magnesia materials are added, oxygen is purged, coke powder is injected, melting is released, while after pouring liquid cast iron, a brusite-containing flux consisting of 70-95 masses is added as a magnesia material. % of magnesium

hydroxide and 5-30 mass.% of impurities, with a flow rate varying depending on the proportion of liquid cast iron for melting, in amount of 1-3 kg / ton of steel for every 10% of cast iron poured by weight of the metal charge.

EFFECT: invention makes possible to reduce phosphorus content in metal, reduce wear of the furnace lining and consumption of materials for hot repairs.

3 cl, 1 tbl

RU 2 757 511 C1

RU 2 757 511 C1

Изобретение относится к области черной металлургии, в частности к выплавке стали в дуговой электросталеплавильной печи.

В известном способе, включающем завалку металлошихты и шлакообразующих материалов, их нагрев и расплавление, проведение окислительного рафинирования путем продувки ванны кислородом со вспениванием шлака, подачу в печь магнезиального материала, выпуск плавки с оставлением в печи части металла и шлака, в качестве магнезиального материала подают материал, содержащий гидроксид магния, при соотношении содержания оксида магния к потерям при прокаливании

$$\frac{\%MgO}{\%n.n.n.} = 1,5-3,5,$$

с подачей магнезиального материала после выпуска части шлака периода рафинирования металла и/или в конце плавки до начала слива металла в ковш с дополнительной подачей или без дополнительной подачи углеродсодержащего материала для вспенивания шлака. Магнезиальный материал вводят в печь в количестве 1-10 кг/т стали [Патент RU № 2645170, МПКС21С5/52, F27В3/08, 2018].

Для условий выплавки стали с расплавлением всей заваливаемой металлошихты негативным моментом присадки материала с высоким содержанием потерь при прокаливании, обладающего высоким охлаждающим эффектом, является пониженный показатель температуры выпускаемого из печи в ковш металла. Соответственно, в условиях дальнейшей обработки стали на установке печь-ковш требуется дополнительный расход электроэнергии для нагрева до заданной температуры.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому способу является способ выплавки стали в дуговой электросталеплавильной печи, включающий подачу в печь в качестве металлошихты металллолома и жидкого чугуна, расплавление металллолома, присадку шлакообразующих материалов, продувку кислородом, выпуск плавки, согласно изобретению заливку жидкого чугуна в печь осуществляют в количестве 40-70% от массы металлошихты, после чего осуществляют продувку ванны кислородом с расходом 1800-2200 нм³/час в течение 12-25% времени продувки, затем расход кислорода увеличивают до 5000-7000 нм³/час и осуществляют продувку в заданном режиме в течение 28-40% времени продувки, далее расход кислорода снижают до 3000-5000 нм³/час и в заданном режиме ведут продувку до ее окончания. В течение периода продувки ванны с расходом кислорода 5000-7000 нм³/час осуществляют ввод коксового порошка в количестве 25-60 кг/мин. В качестве шлакообразующих материалов присаживают известь в количестве 15-65 кг/т стали и/или известняк в количестве 2-20 кг/т стали и доломит в количестве не более 10 кг/т стали [Патент RU № 2543658, МПК С21С5/52, 2015].

Недостатком способа выплавки стали с применением доломита является низкая эффективность доломита по насыщению оксидом магния формируемого агрессивного высокотемпературного шлака пониженной основности в условиях повышения доли заливаемого чугуна на плавках. Как правило, доломит содержит менее 40 масс. % оксида магния и не менее 55 масс. % оксида кальция, полученный высокотемпературным обжигом обладает низкой скоростью растворения, особенно в шлаках с повышенным содержанием оксида кремния и пониженным содержанием оксидов железа. В условиях взаимодействия доломита с избыточным оксидом кремния на поверхности кусков образуется тугоплавкая корочка двухкальциевого и трёхкальциевого силикатов, температура плавления которых составляет более 2000 °С. Соответственно процесс растворения доломита проходит медленно, а содержание оксида магния в формируемом шлаке недостаточно для его насыщения, что не позволяет эффективно защищать

футеровку печи, особенно в агрессивный период образования шлака низкой основности.

Чем выше доля заливаемого на плавку горячего жидкого чугуна и выше содержание кремния в нём, тем меньше основность формируемого шлака. В шлаках пониженной основности сложно эффективно проводить дефосфориацию металла, а как известно, чем выше доля чугуна на плавке, тем больше вносится фосфор, для удаления которого нужен не только рост массы основного шлака, но и формирование легкоплавких фаз ферритов кальция при сопутствующем охлаждении металла до требуемого уровня температуры. Чем ниже основность шлака и выше температура, тем выше предел растворимости оксида магния в шлаке по ходу плавки, соответственно выше износ периклазовой футеровки печи, что требует дополнительных затрат масс для проведения горячих ремонтов.

В предлагаемом способе поставлена задача: снизить содержание фосфора в металле, сократить износ футеровки дуговой электросталеплавильной печи и расход масс для горячего ремонта.

Технический результат достигается тем, что в известном способе, включающем подачу в печь в качестве металлошихты металлолома и жидкого чугуна, расплавление металлолома, присадку шлакообразующих известковых и магниезиального материалов, продувку кислородом, ввод коксового порошка, выпуск плавки, согласно изобретению, после заливки жидкого чугуна в качестве магниезиального материала присаживают бруситсодержащий флюс, состоящий на 70-95 мас. % из гидроксида магния и 5-30 мас. % примесей, с расходом, изменяющимся в зависимости от доли жидкого чугуна на плавку, в количестве 1-3 кг/т стали на каждые 10 % заливаемого чугуна от массы металлошихты. Во время выпуска плавки после наполнения ковша металлом в печи оставляют часть металла и шлака для следующей плавки. Дополнительно осуществляют присадку бруситсодержащего флюса после выпуска части шлака периода окислительного рафинирования металла и не позднее 2 мин до начала до слива металла в ковш.

Сущность предложенного способа заключается в следующем.

Бруситсодержащий флюс, состоящий на 70-95 мас. % из гидроксида магния, не только обладает высокой скоростью растворения в шлаке, за счёт низкой температуры дегидратации 350-500 °С, приводящей к физическому разрыву кусков флюса, но и обладает охлаждающей способностью, что даёт возможность регулирования температурного режима ведения плавки при повышении доли жидкого чугуна в металлошихте. Физический разрыв кусков флюса приводит к увеличению поверхности взаимодействия магниезиального материала с шлаком, соответственно ускоряется взаимодействие оксида магния с оксидами кремния и железа, приводя к быстрому насыщению шлака оксидом магния из флюса, а не из рабочего слоя футеровки печи. Вводимый в печь из флюса, оксид магния реагирует с избыточным оксидом кремния в шлаке с образованием фаз мервинита $3\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$ (tпл ~ 1575°С) и монтичеллита $\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ (tпл ~ 1500°С), препятствуя образованию тугоплавких силикатов кальция: ларнита $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (tпл ~ 2130°С) и алита $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (tпл ~ 2070°С), повышая основность шлака. Повышение основности шлака при сопутствующем снижении температуры способствует качественному проведению дефосфориации металла.

В результате физико-химического взаимодействия бруситсодержащего флюса с шлаком по ходу плавки формируются тугоплавкие соединения железа магниезиовюстита $\text{MgO}\cdot\text{FeO}$ (tпл ~ 1830°С) и магниезиоферрита $\text{MgO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (tпл ~ 1730°С), которые оказывают торкретирующее воздействие на футеровку, оседая на рабочем слое с образованием

шлакового гарнисажа повышенной стойкости. Формирование шлакового гарнисажа на рабочем слое огнеупоров от плавки к плавке способствует не только снижению износа рабочего слоя футеровки, но и позволяет сократить частоту горячих ремонтов печи, таким образом снижая удельные расходы дорогостоящих масс и продолжительность простоя печи. Образование в составе шлака тугоплавких ферритов магния не влияет на показатель вязкости шлака, работающего на дефосфорацию, т.к. улучшается растворение известковых материалов, а более вязкие компоненты шлака оседают на стены печи, таким образом формируется основной шлак необходимой жидкоподвижности для проведения качественной дефосфорации металла.

Поставленная задача не решается в случае применения магнезиального материала, в котором содержание гидроксида магния $Mg(OH)_2$ составляет менее 70 масс. % и примесей более 30 мас. %, так как увеличение в составе примесей ведёт к снижению эффекта быстрого распада куса флюса и к замедлению насыщения шлака оксидом магния. В большинстве случаев такими магнезиальными примесями могут являться необожжённые минералы: сырой магнезит с температурой декарбонизации в пределах 600-800°C без эффекта ускоренного распада куса в мелочь, кремнийсодержащие серпентин или дунит, которые при температурах выше 450°C могут образовывать в структуре флюса тугоплавкий форстерит с $t_{пл} \sim 1890^\circ C$. Нецелесообразно введение в шихту при производстве бруситового флюса обожжённых магнезиальных и известковых материалов, при снижении в его составе гидроксида магния $Mg(OH)_2$ менее 70 масс. %, так как повышается не только тугоплавкость флюса, но и снижается его охлаждающая способность. Содержание гидроксида магния в составе бруситсодержащего флюса более 95 масс. % ограничивается обязательным наличием примесей, основными из которых являются серпентин, оливин, карбонаты магния и кальция и другие следы минералов, удаление которых менее 5 масс. % возможно только дополнительным обогащением и сепарацией пород брусита, что значительно увеличит стоимость флюса, практически не меняя его эффективность при выплавке стали.

Не решается поставленная задача в случае расхода бруситсодержащего флюса менее 1 кг/т стали на каждые 10 % заливаемого чугуна от массы металлошихты, так как вносимого бруситсодержащим флюсом оксида магния на плавку будет недостаточно для насыщения шлака, что приведёт к растворению оксида магния из футеровки печи. Недопустимо превышение расхода флюса более 3 кг/т стали на каждые 10 % заливаемого чугуна от массы металлошихты, что приведёт к переохлаждению плавки, появлению неравномерных шлакометаллических наморозок на стенках и днище печи, для растворения которых потребуются дополнительные затраты электроэнергии и кислорода.

Необходимость оставления части шлака и металла в печи их масса для следующей плавки определяется сталеплавильщиками в зависимости от выплавляемой марки по требуемому содержанию фосфора в металле, массы и состава заливаемого чугуна в печь, необходимости проведения горячих ремонтов и других организационных условий электросталеплавильного производства.

Режим присадки бруситсодержащего флюса после заливки жидкого чугуна, в том числе постепенной подачи флюса после выпуска части шлака периода окислительного рафинирования металла и/или в конечный период плавки с окончанием подачи не позднее 2 мин до начала слива металла в ковш, также определяется сталеплавильщиками в зависимости от доли заливаемого в печь жидкого чугуна, его температуры и содержания кремния, маркой стали, требуемой температурой металла на выпуске, наличия или отсутствия шлака предыдущей плавки и необходимостью оставления

шлака на следующую плавку, состоянием футеровки печи и периодом её работы по стойкости. Ограничение времени окончания подачи флюса связано с необходимостью его усвоения шлаком и избегания его неравномерных наростов на стенки печи.

Сопоставление заявляемого способа выплавки стали в дуговой электросталеплавильной печи со способом, выбранным за прототип, показывает, что применение после заливки жидкого чугуна бруситсодержащего флюса, состоящего на 70-95 масс. % из гидроксида магния и 5-30 масс. % примесей, с расходом в количестве 1-3 кг/т стали на каждые 10 % заливаемого чугуна от массы металлошихты, проведение постепенной подачи флюса после выпуска части шлака периода окислительного рафинирования металла и/или в конечный период плавки с окончанием подачи не позднее 2 мин до начала слива металла в ковш, в условиях оставления или без оставления части металла и шлака для следующей плавки, обеспечивает требуемое содержание фосфора в металле, позволяет снизить износ футеровки дуговой электросталеплавильной печи и расход масс для горячего ремонта. Таким образом, предложенное техническое решение соответствует критерию «новизна».

Способ осуществляется следующим образом.

В дуговую электросталеплавильную печь заваливают металлолом и известь, после прогрева и оседания металлолома осуществляют подвалку металлолома и заливку жидкого чугуна. Нагрев, расплавление металлолома и выплавку проводят при регулируемых мощностях дуги и режимах работы газокислородных горелок и кислородной фурмы. По ходу выплавки стали проводят частичное удаление шлака из печи, вспенивая его подачей коксового порошка. Ведут окислительное рафинирование металла с корректировкой шлака шлакообразующими материалами. В состав шлакообразующих материалов входит известь, известняк и магнезиальный материал, в виде бруситсодержащего флюса, состоящего на 70-95 масс. % из гидроксида магния и 5-30 масс. % примесей, с заявленным расходом в зависимости от доли жидкого чугуна на плавку, что обеспечивает требуемые показатели основности шлака и содержания в нем оксида магния по ходу плавки. После достижения температуры и содержания углерода, фосфора требуемым показателям выплавляемой марки проводят выпуск плавки.

Заявляемый способ получения стали был реализован при выплавке низкоуглеродистой стали марки 09Г2С и среднеуглеродистой стали 20 в 150-тонных дуговых электропечах с мощностью трансформатора 90 МВА.

Варианты реализации способа приведены в таблице.

Во всех вариантах после заливки чугуна по ходу плавки постепенно подавали бруситсодержащий флюс, при регулируемой скорости подачи в пределах 300-500 кг/мин, с разным содержанием гидроксида магния в пределах заявленного состава флюса и его расхода:

вариант 1 - флюс состоял из 70 масс. % гидроксида магния и 30 масс. % примесей, при заявленном удельном расходе 3 кг/т стали на каждые 10 % заливаемого чугуна, постепенно подавался в печь после схода части рафинировочного шлака и в конечный период плавки, с прекращением подачи флюса не позднее 2 мин до начала слива металла в ковш с последующим оставлением части металла и шлака в печи для проведения следующей плавки;

вариант 2 - флюс состоял из 80 масс. % гидроксида магния и 20 масс. % примесей, постепенно подавался в печь после схода части рафинировочного шлака, при заявленном удельном расходе 2 кг/т стали на каждые 10 % заливаемого чугуна;

вариант 3 - флюс состоит из 95 масс. % гидроксида магния и 5 масс. % примесей, при

заявленном удельном расходе 1 кг/т стали на каждые 10 % заливаемого чугуна, с подачей в конечный период плавки за 5 мин. до выпуска, в ходе которой часть металла и шлака оставлена в печи для проведения следующей плавки.

5 Определено (таблица), что на всех плавках, проведённых по вариантам заявленного способа, расход электроэнергии, кислорода и природного газа соответствовал уровню плавки способа-прототипа, проведённых с одинаковой долей жидкого чугуна в металлошихте. Основность шлака $\frac{(\%CaO) + (\%MgO)}{(\%SiO_2)}$ в конце плавки заявленного способа была выше на 0,1-0,2 ед., соответственно содержание фосфора в металле ниже на 0,001-10 0,002 %, чем показатели плавки известного способа.

Для определения влияния выплавки стали заявленного и известного способов на износ футеровки дуговой электросталеплавильной печи проведено по 300 плавки. Износ футеровки конвертера определяли методом сканирования остаточной толщины футеровки перед проведением плавки и после проведения плавки заявленного способа и способа-прототипа. Установлено, что скорость износа футеровки на плавках 15 заявленного способа ниже в 2 раза, чем при выплавке стали известным способом. Анализ изменения расхода масс для горячего ремонта футеровки показал снижение удельных затрат торкрет-массы на 0,1 кг/т стали после проведения плавки заявленного способа.

20 Таблица

Показатели плавки, проведённых в конвертере по вариантам заявленного способа и по примерам известного способа-прототипа

25	Параметры	Заявленный способ по вариантам			Способ - прототип примеры	
		1	2	3	1	2
	Марка стали					
	Вес твёрдой металлозавалки на плавку, кг/т					
	Вес жидкого чугуна на плавку, кг/т					
	Доля жидкого чугуна в металлошихте, %					
	Содержание в чугуне:					
	[Si] _ч , %	09Г2С	20	20	09Г2С	20
	[P] _ч , %	672	840	504	672	504
30	Температура чугуна, °С	448	280	616	448	616
	Расход шлакообразующих материалов:	40	25	55	40	55
	Известь, кг/т стали	0,5	0,6	0,3	0,4	0,3
	Известняк, кг/т стали	0,080	0,100	0,070	0,080	0,070
	Доломит, кг/т стали	1480	1490	1460	1480	1470
	Бруситсодержащий флюс, кг/т	32	20	32	32	32
	Расход коксового порошка, кг/т	10	12	16	14	16
	Расход электроэнергии, кВт·ч/т	0	0	0	4	10
35	Расход кислорода, нм ³ /т	12	5	5,5	0	0
	Расход природного газа, нм ³ /т	4	4,5	3	4,5	3,5
	Содержание в металле в конце плавки:	245	260	240	245	240
	[C], %	38	46	33	38	33
	[P], %	8,6	8,1	8,9	8,5	8,9
	[P], %	0,09	0,10	0,12	0,09	0,12
	Основность шлака	0,008	0,009	0,010	0,010	0,011
	$\frac{(\%CaO) + (\%MgO)}{(\%SiO_2)}$	3,7	3,2	3,5	3,5	3,4
40	$\frac{(\%CaO) + (\%MgO)}{(\%SiO_2)}$	8,3	5,0	4,5	3,0	4,3
	$\frac{(\%CaO) + (\%MgO)}{(\%SiO_2)}$	1640	1630	1650	1640	1650
	в конце плавки, ед.					
	Содержание в шлаке (MgO) в конце плавки, %					
	Температура металла в конце плавки, °С					

45

(57) Формула изобретения

1. Способ выплавки стали в дуговой электросталеплавильной печи, включающий подачу в печь в качестве металлошихты металллолома и жидкого чугуна, расплавление металллолома, присадку шлакообразующих известковых и магнезиального материалов,

продувку кислородом, ввод коксового порошка, выпуск плавки, отличающийся тем, что после заливки жидкого чугуна в качестве магнезиального материала присаживают бруситсодержащий флюс, состоящий на 70-95 мас.% из гидроксида магния и 5-30 мас.% примесей, с расходом, изменяющимся в зависимости от доли жидкого чугуна на плавку, в количестве 1-3 кг/т стали на каждые 10% заливаемого чугуна от массы металлошихты.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что во время выпуска плавки после наполнения ковша металлом в печи оставляют часть металла и шлака для следующей плавки.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что дополнительно осуществляют присадку бруситсодержащего флюса после выпуска части шлака периода окислительного рафинирования металла и не позднее 2 мин до начала слива металла в ковш.

15

20

25

30

35

40

45