

УДК 669.15-194.3

Г. Кашакашвили, И. Кашакашвили, Б. Кашакашвили

СОВМЕЩЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ, РАСКИСЛЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И РАЗЛИВКИ СТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОГО АГРЕГАТА

Во всём мире любыми способами, разными технологиями сталь варят, в основном, в конвертерах, электродуговых и индукционных печах, а также – в мартеновских, двухванных и др.

В этих агрегатах проводят все периоды плавки начиная с завалки и готовую кипящую плавку выпускают в сталеразливочный ковш, который переставляют в агрегат ковшовой обработки стали (АКОС), где осуществляют процессы раскисления-легирования и обработки жидкой стали инертными газами и шлакообразующими смесями с целью гомогенизации химического состава и температуры металла, десульфурации, уменьшения количества эндогенных, экзогенных неметаллических включений и растворимых газов.

Для решения поставленной задачи – создания технологической линии выплавки, раскисления и внепечной обработки стали по упрощённой технологии, повышения производительности, а также значительного улучшения качества стали и уменьшения её себестоимости, решающими оказались проведённые нами успешные эксперименты по выплавке стали на Руставском металлургическом заводе (РМК) при глубинной продувке сталеплавильной ванны газозвдушной (газоокислородной) смесью через вставленную и вмурованную в сталевыпускное отверстие неводоохлаждаемую горелку (Рис. 1).

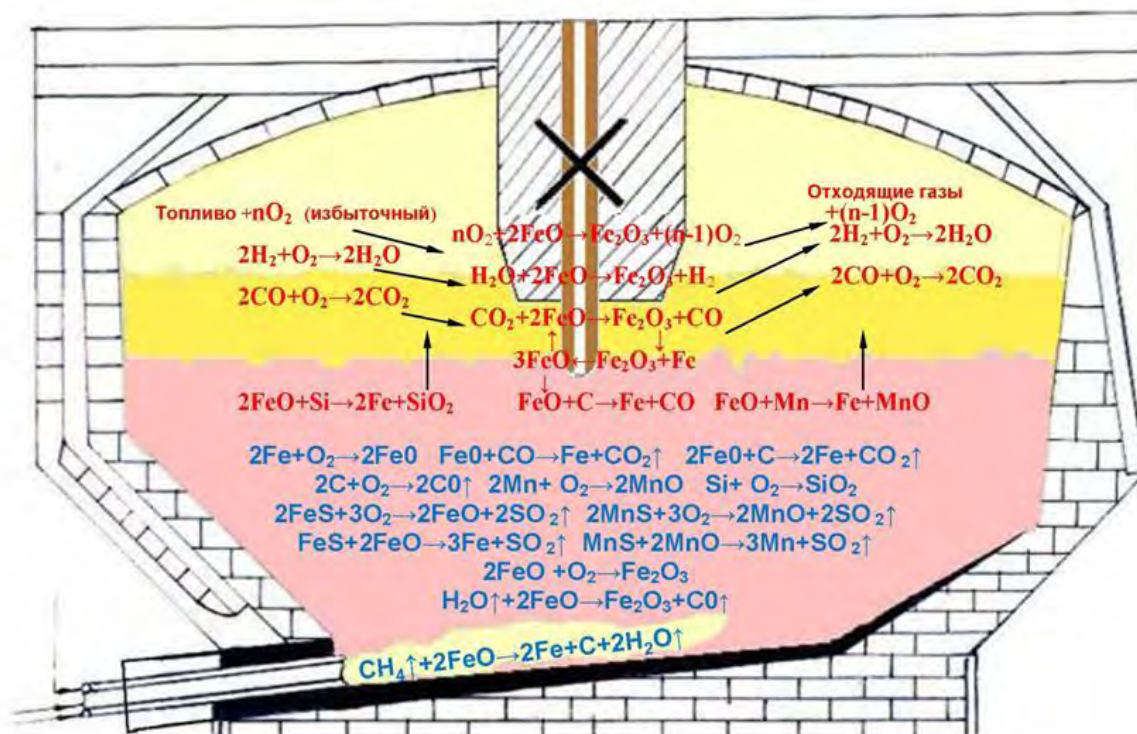


Рисунок 1 – Продувка жидкой ванны газозвдушной смесью через сталевыпускное отверстие печи

Указанная технологическая схема выплавки стали интересна в основном тем, что металл нагревается передачей тепла не только сверху вниз медленно (как это происходит при обычной технологии последовательно через самый нагретый 250÷300 миллиметровый слой прекрасного теплоизолятора – шлака, его границу с жидким металлом, сквозь него до самого холодного слоя у сталевыпускного отверстия и магнетитовой подины печи), но и снизу вверх мощным факелом газозвдушной (газоксиородной) горелки, который быстро плавит шихту и нагревает расплав путём создания крутящихся вправо, влево и вверх конвекционных потоков, ускоряющих выгорание химических элементов (Рис. 2). При этом выпуск готовой плавки осуществляется без тяжёлого ручного труда механизированным выносом горелки из сталевыпускного отверстия краном, после чего жидкий металл через жёлоб перетекает в ковш, где и проводится раскисление-легирование стали подачей ферросплавов из бункеров-дозаторов.

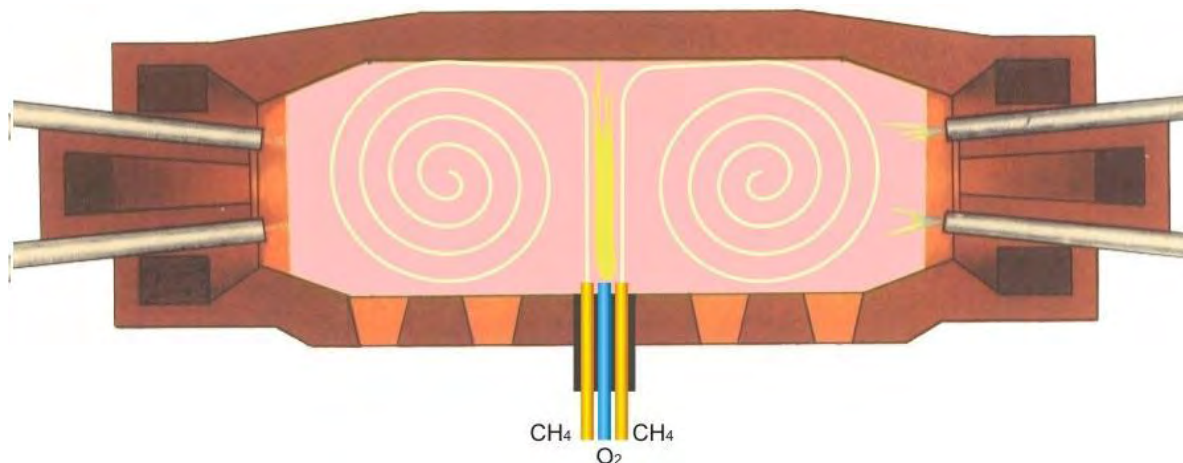


Рисунок 2 – Циркуляционные потоки в жидкой ванне при её продувке газозвдушной смесью через сталевыпускное отверстие печи

При проведении успешных научных экспериментов по выплавке стали продувкой газозвдушной смеси через сталевыпускное отверстие печи найдены новые, не имеющие аналогов в мировом масштабе закономерности обезуглероживания и науглероживания жидкой сталеплавильной ванны, зависящие от температуры металла и соотношения объёмов газа и воздуха.

От Международной академии авторов научных открытий и изобретений получены диплом №390 на научное открытие „Закономерность изменения содержания углерода в жидкой стали от температуры нагрева при её продувке газозвдушной смесью“ (Рис. 3) и Памятная серебряная медаль, посвящённая Петру Леонидовичу Капице и диплом 416 на второе научное открытие под названием „Закономерность науглероживания жидкой сталеплавильной ванны при её глубинной продувке газозвдушной смесью“ с золотой медалью П.Л. Капицы “Автору научного открытия” (Рис. 4).



Рисунок 3 – Диплом №390 на научное открытие „Закономерность изменения содержания углерода в жидкой стали от температуры нагрева при её продувке газозвушной смесью“



Рисунок 4 – Диплом №416 на научное открытие „Закономерность науглероживания жидкой сталеплавильной ванны при её глубинной продувке газоздушной смесью“

Нашим вторым научно-производственным экспериментом во время наполнения ковша совмещаются процессы раскисления-легирования и внепечной обработки стали путём её продувки через разливочное отверстие шибера инертными газами, шлакообразующими смесями и микролегирующими добавками. Указанная технология (Рис. 5) кроме РМК внедрена на многих заводах России и Украины, а её патент купили фирмы „Крупп“ и „Маннесман“.

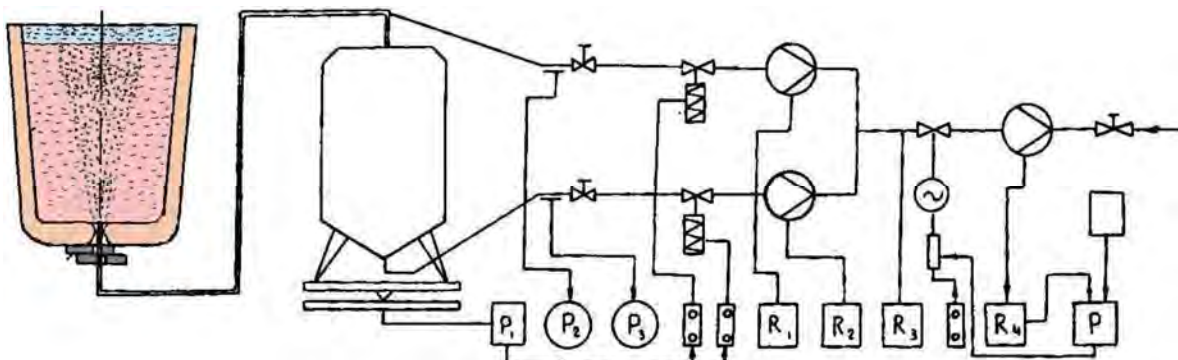
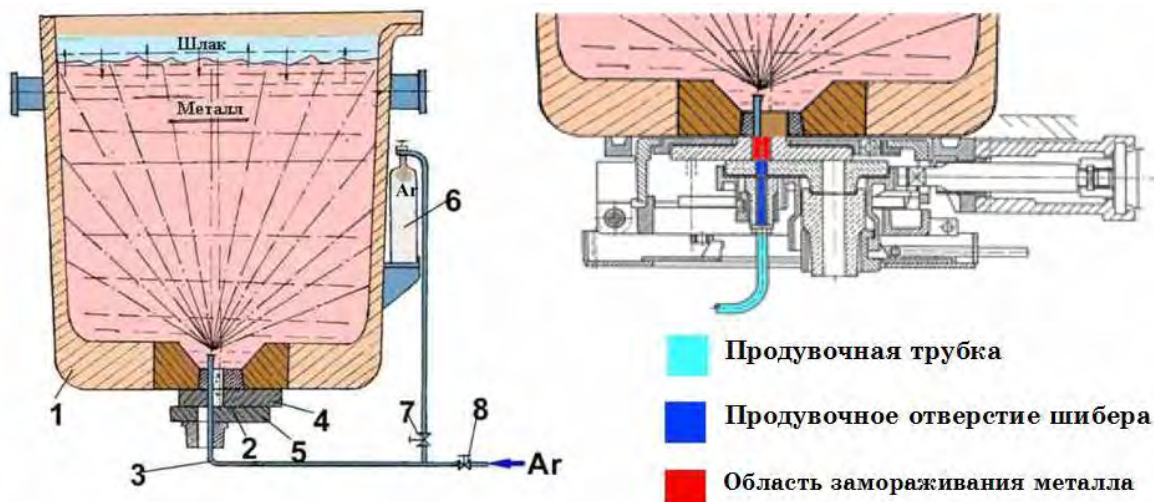


Рисунок 5 – Внедрённая в Грузии (на РМК), России, Украине и купленная немецкими фирмами технология ковшовой обработки жидкой стали вдуванием инертных газов и шлакообразующих реагентов через разливочное отверстие шибера

Немецкие сталеплавильщики попробовали усовершенствовать эту технологию, однако более технологичный вариант разработан нами (Рис. 6).



1. Ковш; 2. Разливочное отверстие шибера;
3. Продувочная трубка; 4. Неподвижная плита шибера;
5. Подвижная плита шибера; 6. Баллон с аргоном;
- 7 и 8. Задвижки.

Рисунок 6 – Новая грузинская (а) и немецкая (б) системы продувки стали инертными газами и рафинирующими реагентами через разливочное отверстие шибера

Успешно проведённые на РМК вышеперечисленные научные эксперименты послужили основой создания единого агрегата для выплавки стали глубинной продувкой снизу газовой (газокислородной) смесью через шибера усовершенствованного сталеразливочного ковша и нагревом сверху электроэнергией по технологии АКЭС-а (Рис. 7).

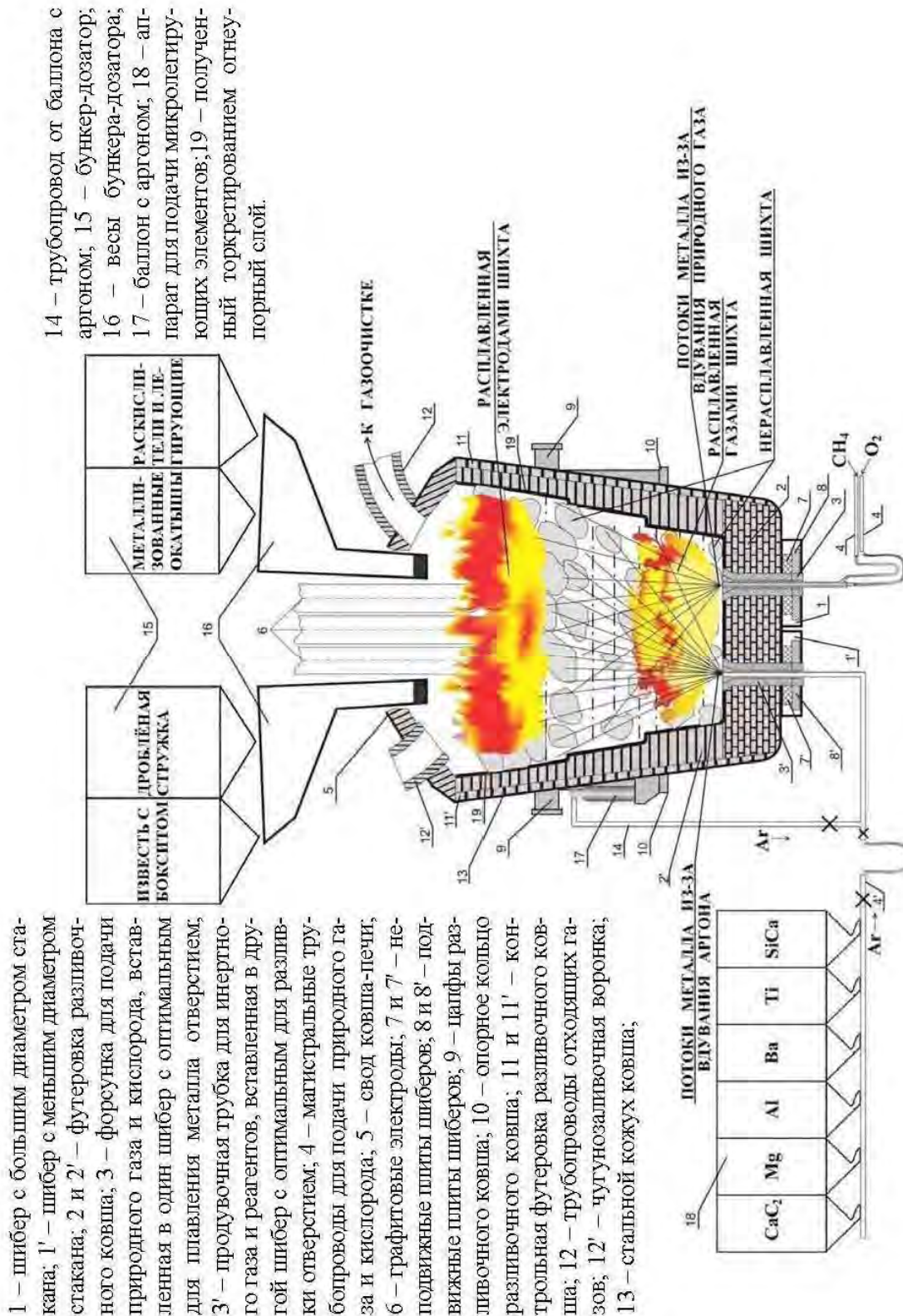


Рисунок 7 – Двухшиберный агрегат для совмещения технологий выплавки, раскисления и обработки стали

Современная сталеплавильная линия – дуговая электропечь с выпуском стали в АКОС имеет следующие основные недостатки:

1. После осаживания шихты, по крайней мере, дважды осуществляется отсоединение печи от свода, загрузка лома бадьями пока не будет освоено полный тоннаж ковша;

2. В процессе обеих загрузок лома охлаждается расплавленный металл, при загрузке в него лом покрывается коркой металла и материал становится тугоплавким, что вызывает большие расходы энергии;

3. Загрузка твёрдого лома бадьями в находящийся в ковше-печи со снятым сводом жидкий металл вызывает интенсивные реакции и является опасной процедурой с точки зрения техники безопасности;

4. Двухразовое выключение печи, остановка процесса выплавки, снятие свода, кроме больших тепловых потерь, ухудшает условия труда и показатели загрязнённости окружающей среды;

5. При выплавке не используется температура выхлопных продуктов горения топлива с целью нагрева загружаемого лома.

С учётом всех перечисленных недостатков и нами проведённых опытов по выплавке и рафинированию стали созданная технология в АКОС-е с двухшиберным ковшом ставит целью загрузку лома в плавильный агрегат без снятия свода и остановки процесса выплавки, использование тепла выделенных во время выплавки высокотемпературных выхлопов для нагрева материалов, сыпавшихся труботочками из бункеров в печь и подаваемого туда же конвейером лома, уменьшение расхода горючего, совершенствование процессов плавания, доводки, раскисления стали, рафинирования инертными газами, реагентами, совершенствование процессов раскисления нагревом металла в одном модернизированном агрегате только до оптимальной температуры и с резким улучшением его качества, также ликвидации тяжелейшего ручного труда закрытия-открытия сталевыпускного отверстия основного агрегата, вторичного окисления (при выпуске из печи во время течения на жёлобе и наполнении ковша), загрязняющих окружающую среду процессов, разливку стали из этого же агрегата на установке непрерывной разливки с резким улучшением экономических, качественных и экологических показателей.

Намеченная цель была достигнута без отключения печи и снятия её свода подачей нагретых теплом выхлопных газов стального лома и металлизированных окатышей посредством конвейера со сводом и проходящей в водоохлаждаемом своде ковша-печи принимающей шихту водоохлаждаемой труботочки, подачей обожжённой извести, боксита, кальциевого шпата и раскислителей посредством труботочек из соответствующих бункеров.

Процесс выплавки стали охватывает транспортировку и стыковку со сводом загруженного металлическим ломом, металлизированными окатышами, флюсами разливочного ковша с двумя гибкими пружинами шиберами. Один шибер используется только для проведения периодов плавания и доводки, а второй – для вдувания инертного газа (например, аргона) или азота и реагентов вместе с ними для нормального проведения процессов рафинирования и разливки металла.

Новая технология выплавки и рафинирования стали предусматривает торкретирование (покрытие слоем огнеупорного материала) рабочей поверхности футеровки разливочного ковша, транспортировку наполненного стальной шихтой двухшиберного разливочного ковша до агрегата внепечной обработки, стыковку ковша к водоохлаждаемому своду с электродами (который соединён с газоочисткой специальным конвейером со сводом), плавания стальной шихты одновременно сверху электрической дугой и снизу – теплом мощного факела, образованного при горении природного газа, вдуваемого вместе с воздухом или

кислородом через затрамбованное (кварцитовым порошком в разливочном стакане первого шиберного затвора) специальное сопло, составленное из коаксиальных труб, по наружной трубе которого вводят природный газ, а по внутренней трубе – воздух или кислород.

Заполнение в процессе плавления свободного пространства при усадке металла без снятия свода осуществляют присадкой из бункеров труботечками и/или нагретого при движении на накрытом своде конвейере выхлопными из ковша-печи газами и/или дополнительными факелами природного газа измельчённого лома и/или металлизированных окатышей и/или заливкой жидкого чугуна по футерованному огнеупорными материалами специальному жёлобу.

Процесс осуществляется в автоматизированном режиме без отключения агрегата, без потерь тепла, без выплесков металла загрузкой холодного лома и без других нежелательных процессов, мешающих стабильному проведению плавления. Скачивание первичного шлака без расстыковки ковша со сводом осуществляется шлакоскачивающей машиной через смонтированный на ковше футерованный огнеупорными материалами специальный жёлоб. После скачивания первичного шлака наведённым (поданными смонтированными над сводом печи бункерами-дозаторами извести, боксита и другими флюсами) вторичным шлаком протекают периоды плавления, доводки, кипения. При этом, если после полного расплавления шихты содержание углерода выше номинального для заказанной марки стали, то, с учётом закономерностей 390-го и 416-го научных открытий 2010-2011 гг. [3, 4], увеличивают количество вдуваемого воздуха или кислорода, то есть, коэффициент избытка кислорода и ускоряют процесс обезуглероживания (выгорания углерода из расплавленной сталеплавильной ванны). Если содержание углерода в расплавленной ванне низкое – малое для заказанной марки стали, то увеличивают расход природного газа, т. е. уменьшают коэффициент избытка кислорода и вместе с обезуглероживанием происходит науглероживание сталеплавильной ванны с сохранением сильного кипения металла.

С помощью постоянно действующего прибора в процессе кипения определяют: уровень жидкой стали в ковше, её температура и содержание химических элементов. После достижения желаемого химического состава по углероду, сере и фосфору закрывают предназначенный для процесса плавления шиберный затвор, чем прекращают подачу в жидкую сталь природного газа и кислорода или воздуха. Этим заканчивается период плавления. Одновременно с этим начатую в периодах плавления и доводки экстенсивную продувку металла инертным газом или азотом из затрамбованной сухим кварцевым песком в разливочном стакане второго шиберного затвора трубочки переводят в интенсивный режим, вместе с обработкой стали реагентами, раскислением и легированием. Процесс осуществляется подачей силикомарганца, ферромарганца, ферросилиция, алюминия и других ферросплавов сверху труботечками из расположенных над ковшом-печью бункеров-дозаторов. С помощью направленных снизу вверх тепловых потоков (вызванных вдуванием снизу инертным газом или азотом карбида кальция, силикокальция, магния, алюминия, бария и других активных порошковых реагентов-микродобавок из инъекционного аппарата) ускоряется удаление из готовой жидкой стали (ассимилированием в покрывающий жидкую сталь активный шлак) продуктов раскисления, эндогенных и экзогенных неметаллических включений.

Когда марка выплавляемой стали требует очень низкий индекс неметаллических включений, что осуществляется малым содержанием серы и фосфора, скачивают пересыщенный окислами, сульфидами, фосфатными соединениями вторичный шлак и наводят новый, третий шлак поданными из верхних бункеров шлакообразующими материалами, поданными снизу инъекционным аппаратом активными

десульфураторами, реагентами и даже выделенным от включения на низкую ступень ковша-печи теплом успешно продолжают процессы как рафинирования, так и глубокой десульфурации и дефосфорации.

После получения стали желаемого химического состава прекращают подачу электроэнергии на ковш-печь, а продувку инертным газом без реагентов продолжают вместо магистрального трубопровода из смонтированного на ковше баллона с аргоном при транспортировке краном полную сталью разливочного ковша до агрегата непрерывной разливки, где автоматизированный процесс непрерывной разливки начинается открытым шибером прекращением подачи инертного газа из баллона. См. чертёж технической линии и двухшиберного агрегата для выплавки, рафинирования и разливки стали.

Один из примеров реализации способа с нужными устройствами представлен на фигуре.

Агрегат для выплавки, рафинирования и разливки стали содержит расположенные на днище ковша-печи шиберные затворы (1 и 1'), вмурованные в днище (2) ковша и пропущенные через шиберные затворы разливочные стаканы (3), при этом, в одном из этих стаканов вставлено соединённое с магистральным трубопроводом (4) сопло для подачи природного газа и воздуха или кислорода, а во втором – соединённое с магистральным трубопроводом сопло (4') для подачи инертного газа и реагентов, причём этот трубопровод соединён с инжекционным аппаратом (16) для подачи микролегирующих элементов. На ковше-печи насажен свод (5), в котором вставлены электроды (6), воронка (12) для заливки жидкого чугуна (29) и водоохлаждаемая труботечка (24), с которой соединены бункера-дозаторы (15) для флюсов и раскислителей и накрытый сводом конвейер (25) для подачи шихты. Разливочный ковш содержит выполненную на стенках в металлическом кожухе (13) контрольную футеровку (11) и вышеотмеченную основную футеровку (2), которая покрыта полученным торкретмашиной защитным огнеупорным слоем (23). Также, на кожухе (13) снаружи устроены цапфы (9), опорное кольцо (10) и соединённый трубкой с подающим инертный газ и реагенты магистральным трубопроводом (4') баллон (17) для аргона, причём, соединённая с баллоном и магистральным трубопроводом трубка оборудована задвижками (33). При этом в стенке ковша выполнен жёлоб (32) для скачивания шлака, а имеющийся на днище ковша шиберный затвор содержит неподвижную (7) и подвижную огнеупорные плиты. Накрытый сводом конвейер (25) соединён с бункером (26) для габаритного лома, дымовой трубой (27), газоочисткой (28) и бункером (30) для металлизированных окатышей. Кроме этого, для дополнительного нагрева металлизированных окатышей в своде конвейера установлена горелка (31) для природного газа. На фигуре также представлена загруженная в печь нерасплавленная шихта (20), часть которой расплавлена электродугой (18) и газами (19). Также представлен полученный продувкой инертным газом поток (21) металла и полученный продувкой природным газом поток (22) металла.

Ковш-печь оборудована не отображённой на фигуре постояннодействующей аппаратурой для определения уровня жидкого металла, процентного содержания в нём углерода и других химических элементов.

Способ выплавки стали одним агрегатом предусматривает покрытие рабочей поверхности футеровки (2) ковша полученным торкретировочной машиной защитным слоем (23) огнеупорного материала и после загрузки шихтовых материалов установку разливочным краном на стенд оборудованным мощными гидропрессами для подъёма модернизированной ковша-печи, после чего её герметически стыкуют со стационарным водоохлаждаемым сводом (5) и одновременно осуществляют плавление шихты сверху электродугой (18) и снизу – мощным факелом (19) природного газа и воздуха или кислорода, дуваемых через коаксиально расположенные трубки (4) сопла, затрамбованного

кварцевым порошком в отверстиях разливочного стакана одного шиберного затвора (1). Одновременно с началом плавки начинают и продолжают до её конца вдувание инертного газа или азота трубкой (4'), затрамбованной кварцевым порошком в отверстиях разливочного стакана второго шиберного затвора (1').

Заполнение образовавшихся при плавлении полостей автоматически протекает подачей из смонтированной над сводом печи водоохлаждаемой трубочки (24) нагретыми на соединённом с газоочисткой (28) дымовой трубы (27) накрытом сводом специальным конвейере (25) с использованием тепла высокотемпературных выхлопных в процессе плавки газов окускованным ломом, измельчённой стружкой и металлизированными окатышами.

При интенсивном плавлении шихты (18 и 19) одновременно с образованием жидкой фазы во всём объёме ковша осуществляют экстенсивную продувку металла инертным газом (например, аргоном) или азотом. В процессе плавки сразу же при образовании шлака скачивают первичный шлак шлакоскачивающей машиной по специальному жёлобу (32) ковша и продолжается процесс плавления, доводки и кипения стали наведённым добавлением из бункеров (15) извести и полевого шпата вторичным шлаком.

Если содержание углерода в ванне металла выше оптимального для выплавляемой стали, то, с учётом установленных вышеотмеченными научными открытиями закономерностей науглероживания-обезуглероживания, осуществляют увеличение расхода воздуха или кислорода и этим ускоряют процесс обезуглероживания (выгорания углерода).

Если же содержание углерода в расплавленной ванне низкое, то есть малое для заказанной марки стали, то увеличивают расход природного газа, после чего вместе с обезуглероживанием происходит ритмическое науглероживание металлической ванны в условиях сильного чистого кипения.

При расплавлении сталеплавильной ванны после достижения оптимального химического состава стали по углероду, сере и фосфору закрытием первого шиберного затвора (1) прекращают вдувание природного газа и воздуха или кислорода и процесс плавления и доводки стали. С этого периода начинается процесс рафинирования стали, для чего экстенсивную продувку инертным газом или азотом переводят в интенсивный режим и совмещают с процессом раскисления-легирования, который осуществляется подачей сплавов из бункеро-дозаторов (15), а вдуванием в металл шлакообразующих реагентов и микролегирующих из инъекционного аппарата (16) посредством инертного газа осуществляют раскисление стали, совмещение процессов легирования, рафинирования инертными газами и реагентами и ассимилирование в шлаке продуктов раскисления, эндогенных, экзогенных, в том числе газовых включений.

Если выплавляемая марка стали особенно ответственная и требует приближённый к уровню обработанной вакуумом стали индекс включения – малое содержание серы и фосфора, то скачивают насыщенный разными окислами шлак. Далее, добавлением извести и плавикового шпата из верхних бункеров и вдуванием сильных реагентов снизу из инъекционного аппарата наводят новый шлак, нагревают его вместе с металлом использованием тепла электродуги и одновременным вдуванием инертного газа (например, аргона) или азота осуществляют глубокую десульфурацию и дефосфорацию. Вызванными процессом продувки тепловыми потоками максимально удалят из стали сульфидные, фосфатные, в том числе, газовые неметаллические включения, особенно – водород (до минимального содержания).

После получения заказанной марки стали вдувание аргона в ковш вместо стационарной магистрали продолжают из баллона (17) при транспортировке ковша разливочным краном до машины непрерывного литья, где

автоматизированный процесс непрерывной разливки из разливочного ковша (одного-единственного агрегата выплавки-рафинирования – ковша-печи) в промежуточный ковш и затем, в кристаллизаторы, начинается открытым шибберным затвором вместе с перекрытием подачи аргона из баллона.

С целью повышения долговечности рабочей футеровки ковша после каждой разливки осуществляют восстановление защитного огнеупорного слоя торкретмашиной. Торкретированный огнеупорный слой толщиной в 20-30 мм из-за высокой температуры ковша быстро высушивается, спекается и способствует повышению долговечности футеровки ковша.

Положительный эффект представленного изобретения заключается в следующем:

1. Плавление, доводка, раскисление, и обработка инертными газами и реагентами осуществляется только в ковше-печи, взамен традиционных двух агрегатов, где до сегодняшнего дня почти все плавки перегреваются на 100-120 °С для компенсации ожидаемых потерь температуры при выпуске стали из печи, выдержке в ковше и разливке. В предложенном же одном-единственном агрегате – ковше-печи выплавка-рафинирование осуществляется без перегрева только нагревом до оптимальной температуры (1530-1540 °С), с ликвидацией тяжёлого ручного труда открытия-закрытия сталевыпускного отверстия основного агрегата, вынужденного перегрева металла на 100-120 °С, его вторичного окисления и загрязнения окружающей среды при выпуске из печи и во время течения на жёлобе.

2. После установки наполненного ломом и шихтовыми материалами ковша на стенде ковша-печи заполнение образовавшихся при одновременном плавлении электрической дугой и снизу тепловым потоком из мощного сопла полостей происходит подачей с накрытого сводом специального конвейера и/или труботочки нагретыми выхлопными из ковша-печи газами ломом и/или измельчённой стружкой и/или металлизированными окатышами, для уменьшения расхода горючего и электроэнергии. При необходимости дополнительный предварительный нагрев лома до оптимальной температуры возможен природным газом, вдувание которого осуществляют вмонтированными в свод конвейера одной или несколькими горелками 31. Вышеперечисленные технологические операции осуществляются без прекращения подачи природного газа, снятия свода ковша-печи при очередной завалке, потерь температуры металла и тепла, больших производственных потерь, а также, крайнего ухудшения трудных условий труда, экологических показателей и перегруза основного оборудования (плавильного агрегата и разливочных кранов) и грубого нарушения техники безопасности.

3. Предложенный новый способ выплавки стали и агрегат даёт огромную экономию электроэнергии, горючего, топлива, дорогостоящих огнеупорных кирпичей, ферросплавов, легирующих и других материалов и нужного для выплавки стали времени.

4. Упразднены вынужденный перегрев металла на 100-120 °С, открытие-закрытие сталевыпускного отверстия и необходимый для этого тяжёлый физический труд сталеваров и, что главное, безмерное загрязнение окружающей среды при выпуске и течении металла на жёлобе вместе с вторичным окислением. Металл нагревается в пределах оптимальных температур, из-за чего меньше будет в нём неметаллических включений, в том числе, газовых, особенно – водорода, растворимость которого в стали повышается пропорционально её температуре и гиперболически – после перегрева металла свыше 1600 °С.

5. Вместе с ликвидацией загрязнения окружающей среды при выплавке стали в основном агрегате и её выпуска из него создаются гораздо лучшие экологические условия, так как при продувке снизу природный газ защищает железо от окисления, повышается выход годного металла и суспензированная пыль расплавляется в ванне жидкого металла 3-4-х метровой высоты до всплытия на её поверхность.

Результаты исследования качества стали приведены в таблице.

Таблица

Результаты новейшей технологии выплавки и рафинирования стали

	Технологические параметры	Рафинирование в ковше		Продувка в печи и рафинирование в ковше		Сравнительные
1	Количество плавов	100	100	1	1	200
2	Продолжительность выпуска, мин.	16	15	20	20	18
3	Продолжительность продувки инертным газом, мин.	16	15	20	20	—
4	Расход инертного газа, м ³ /т	0,10	0,10	0,11	0,11	—
5	Расход сплава SiCaBaAl, кг/т	1,0	1,0	1,0	1,0	—
6	Расход твёрдой шлакообразующей смеси, кг/т	8,0	7,8	8,0	8,0	—
7	Сера в стали перед выпуском, %	0,036	0,036	0,025	0,028	0,049
8	Сера в готовой стали, %	0,014	0,015	0,004	0,005	0,037
9	Степень десульфурации, %	61,1	58,3	84	82	11,8
10	Расход 30%-ного ферротитана на раскисление, кг/т	1,0	1,0	1,0	1,0	—
11	Расход алюминия на раскисление, кг/т	600	600	600	600	900
12	Содержание алюминия в готовой стали, %	0,017	0,018	0,020	0,019	0,018
13	Температура стали перед выпуском, °С	1640	1645	1655	1650	1640

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Общая металлургия / Под ред. Е. В. Челищева. – М.: Металлургия, 1971. – С. 342-352.
2. Патент Грузии GE P5552.
3. Кашакашвили Г. Б., Кашакашвили Б. Г., Кашакашвили И. Г. Закономерность изменения содержания углерода в жидкой стали от температуры нагрева при её продувке газозоудушной смесью [Текст]. – Научное открытие №390. – Регистрационный №490. – дата регистрации 9 февраля 2010 г. // Научные открытия – 2010: Сборник кратких описаний научных открытий, научных гипотез / Составитель Потоцкий В. В. – М.: РАЕН, 2011. – С. 20-21. – Диплом №390 на открытие, выданный 09.02.2010 г. Международной академией авторов научных открытий и изобретений.
4. Кашакашвили Г. Б., Кашакашвили И. Г., Кашакашвили Б. Г. Закономерность науглероживания жидкой сталеплавильной ванны при её глубинной продувке газозоудушной смесью. [Текст]. Научное открытие №416. – Регистрационный №521. – дата регистрации 18 мая 2011 г. // Научные открытия, идеи, гипотезы – 2008-2012: Информационно-аналитический обзор / Потоцкий В. В. М.: РАЕН, 2013. – Диплом №416 на открытие, выданный 09.02.2010 Международной академией авторов научных открытий и изобретений. – С. 117-118.