

Изобретение относится к области черной металлургии, в частности к, производству стали в конвертере, ее внепечной обработке и разливке на МНЛЗ (машина непрерывной литой заготовки).

Современная технология производства качественной стали с низким содержанием серы, фосфора и узкими пределами содержания легирующих элементов базируется на выпуске плавки с отсечкой конвертерного шлака, присадке раскислителей и легирующих, десульфурации стали твердой шлакообразующей смесью (ТШС) во время выпуска плавки, корректировке температуры и химического состава на установках доводки металла (УДМ) при продувке аргоном, дополнительной десульфурации металла вдуванием порошкообразных реагентов.

Присадка в ковш больших количеств ТШС (до 10кг/т) и обработка стали порошкообразными реагентами требует перегрева металла в конвертере на 30 - 40°C, что приводит к резкому снижению стойкости футеровки конвертера, увеличению расхода чугуна и алюминия.

При цикле работы конвертер - МНЛЗ (машина непрерывной литой заготовки) 30 - 40мин продолжительность внепечной обработки должна быть не более 15 - 20мин.

Для этой технологии характерны выпадки по химическому составу стали из-за недостатка времени для формирования жидкого гомогенного шлака при продувке аргоном, в результате чего часть ферросплавов после усреднительной продувки остается в шлаке. Кроме этого ухудшается десульфурация стали.

Часть плавков (до 2%) по организационным причинам выпадает из технологического цикла и из-за недопустимого охлаждения в ковше возвращается на переплав в конвертер.

Для исправления холодных плавков в последние годы разработаны различные способы химического подогрева стали в ковше за счет тепла экзотермической реакции между кислородом и алюминием. Однако, из-за присущих им недостатков, они не могут быть вписаны в технологический поток конвертер - МНЛЗ для существенного снижения температуры металла в конвертере.

Наиболее близкий технический результат при производстве высококачественной стали (низкое содержание серы, узкие пределы химического состава) обеспечивает способ производства низкосернистой стали, используемый на комбинате "Азовсталь".

Согласно этого способа, выплавку стали производят с использованием десульфурованного чугуна и низкосернистого оборотного лома из расчета получения перед выпуском не более 0,015% серы, углерода не менее 0,05%, основности конвертерного шлака не менее 3,5 и FeO не более 20%. Температура перед выпуском должна быть 1660 - 1700°C. Конвертерный шлак отсекают в начале и конце выпуска плавки. В начале выпуска плавки в ковш присаживают ~ 10кг/т стали ТШС из извести и плавикового шпата, взятых в соотношении 4 : 1 с предварительной присадкой на дно ковша 0,5кг/т алюминия. Далее в ковш присаживают ферросплавы и раскислители.

Внепечную обработку стали аргоном и порошкообразными реагентами проводят на УДМ. После усреднительной продувки аргоном производят отбор пробы металла и замеряют температуру, которая должна быть в пределах 1580 - 1600°C. Затем обрабатывают металл порошкообразным силикокальцием в количестве не менее 1,5кг/т. После получения анализа пробы проводят коррекцию химического состава стали присадками ферросплавов и раскислителей, делают рафинирующую продувку аргоном, отбирают пробу металла и замеряют температуру, после чего ковш отправляют на МНЛЗ. Общая производительность продувки аргоном и порошкообразным силикокальцием - не менее 12мин. Время нахождения ковша с металлом на УДМ - не более 25мин. Эта технология обеспечивает производство стали для магистральных газопроводов с содержанием серы не более 0,006%.

Недостатки технологии-прототипа связаны с невозможностью гарантированного получения гомогенного жидкоподвижного шлака в ковше, что приводит к частичной потере (запутыванию) в шлаке ферросплавов и раскислителей, а также снижению его десульфурующей способности, в результате чего около 5% плавков отсортировываются по химическому составу. Около 2% плавков отправляются на МНЛЗ с пониженной температурой и частично либо полностью возвращаются в конвертер.

Этот способ производства стали требует перегрева ~40°C температуры металла в конвертере, что приводит к увеличению примерно на 20кг/т расхода чугуна, 0,3кг/т расхода алюминия и в 2 раза снижает стойкость футеровки конвертера, в результате чего существенно возрастают затраты на производство.

Указанные выше недостатки, присущие известным способам производства конвертерной стали, устраняются в заявляемом изобретении. В основу изобретения поставлена задача создания технологического и экономичного способа производства конвертерной стали, в котором, в результате обработки стали в ковше кислородом, ускоряется процесс формирования гомогенного шлака, повышается усвоение легирующих материалов и улучшается десульфурация, что снижает отсортировку металла по химическому составу и обеспечивает проведение операций по исправлению химического состава и температуры с гарантированной компенсацией тепловых потерь на внепечную обработку в производственном цикле конвертер - МНЛЗ.

Поставленная задача решается тем, что в предлагаемом способе производства конвертерной стали содержащем выплавку металла, выпуск в ковш в отсечкой конвертерного шлака, присадку шлакообразующей смеси, ферросплавов и раскислителей, усреднительную продувку нейтральным газом через погруженную фурму, отбор проб металла и замер температуры, исправление химического состава и температуры, десульфурацию и модифицирование порошкообразными реагентами согласно изобретению исправление шлака и металла в ковше проводят с применением обдува поверхности расплава кислородом при усреднительной продувке нейтральным газом с последующей продувкой кислородом через погруженную в металл фурму, при этом отношение расходов кислорода на обдув и продувку составляет 1 : (1 - 30). Кроме того, корректировку химического состава осуществляют при продувке кислородом с расходами 0,08 - 0,4м<sup>3</sup>/т мин при заглублении фурмы до 50 - 200мм от длины ковша, при этом первую присадку алюминия производят до получения химического анализа пробы металла. Выплавку металла в конвертере осуществляют без учета потерь на внепечную обработку.

Общие с заявляемым изобретением признаки прототипа включают: выплавку в конвертер; отсечку

конвертерного шлака; присадку во время выпуска плавки ТШС, ферросплавов и раскислителей; усреднительную продувку аргоном; отбор пробы и замер температуры после усреднительной продувки; исправление химического состава и температуры металла в ковше; десульфурацию и модифицирование стали порошкообразными реагентами.

Отличительными признаками являются: исключение перегрева металла в конвертере для компенсации потерь тепла на внепечную обработку; применение обдува поверхности расплава в ковше кислородом для ускорения формирования гомогенного шлака; использование кислорода для подогрева металла в ковше вместо охлаждения его слябом.

Реализация отличительных признаков изобретения позволит организовать производство конвертерной стали с сокращением расхода чугуна на 20кг/т повысить в 1,5 - 2 раза стойкость футеровки конвертера без увеличения расхода алюминия, снизить отсортировку металла по химическому составу и температуре.

Таким образом, предлагаемый способ производства конвертерной стали решает задачу существенного снижения температуры металла в конвертере и экономии чугуна, ферросплавов и раскислителей, с одновременным повышением качества стали, которая не может быть решена известными ранее способами.

По своему физическому действию на металл и шлак новизна заявляемого способа заключается в следующем: обдув поверхности расплава в ковше кислородом приводит к резкому повышению температуры верхних слоев металла, что способствует быстрому расплавлению (плавающих в шлаке) спекшихся, ошлакованных конгломератов из извести, ферросплавов и алюминия, при существенно меньшем расходе алюминия, чем, например, при глубинной продувке стали кислородом. В результате этого ускоряется на 3 - 4мин формирование гомогенного шлака, который освобождается от запутавшихся в нем ферросплавов и раскислителей, что определяет представительность химанализа пробы после усреднительной продувки и сокращение затрат.

Расход кислорода на обдув поверхности выбирается в зависимости от количества и размеров спекшихся конгломератов в шлаке. Минимальный расход  $0,013\text{м}^3/\text{мин}$  (отношение 1 : 30) применяют при исправлении шлака, практически не содержащего конгломератов, для снижения его вязкости и содержания в нем  $\text{FeO} + \text{MnO}$ . Дальнейшее уменьшение расхода  $\text{O}_2$  на обдув бесполезно, т.к. оно уже не оказывает влияния на формирование шлака.

Максимальный расход кислорода на обдув поверхности -  $0,08\text{м}^3/\text{т.мин}$  (отношение 1 : 1) применяют для быстрого исправления шлака с большим количеством конгломератов. Дальнейшее повышение расхода невозможно из-за разбрызгивания шлака и металла кислородной струей.

Расход кислорода  $0,08 - 0,4\text{м}^3/\text{т.мин}$  применяют при продувке кислородом через погружаемую фурму в зависимости от наполнения металлом ковша. Расход  $0,08\text{м}^3/\text{т.мин}$  используют при продувке полных ковшей. Дальнейшее снижение расхода кислорода невозможно из-за недопустимого удлинения продолжительности подогрева металла в ковше.

Предельный расход кислорода  $0,4\text{м}^3/\text{т.мин}$  используют для исправления холодных аварийных плавов, возвращенных с МНЛЗ после частичной разливки, с неполным заполнением объема ковша металлом.

Дальнейшее повышение расхода  $\text{O}_2$  сверх  $0,4\text{м}^3/\text{т.мин}$  нецелесообразно из-за сильных выплесков металла из ковша и вибраций фурмы, приводящих к ее разрушению.

Расплавление настывшей поверхности металла и шлака на днище ковша, характерных при систематическом выпуске плавов с пониженной температурой, ускоряется при максимальном приближении сопла кислородной фурмы к днищу, которое ограничивается стойкостью футеровки к кислородному факелу.

Максимальное приближение сопла к днищу (50мм), принятое в заявляемом способе, обеспечивает наиболее быстрое расплавление настывшей поверхности без разрушения хромомagneзитовой футеровки ковша. Дальнейшее приближение сопла к днищу приводит к снижению расхода кислорода из-за увеличения сопротивления истечению струи из сопла фурмы, что ухудшает условия исправления металла.

Примененный в заявляемом способе прием корректировки химического состава стали при глубинной продувке металла кислородом обеспечивает сокращение продолжительности операции корректировки, особенно при присадке тугоплавких ферросплавов, как, например, феррониобия, без ухудшения усвоения легирующих.

Заявляемый прием присадки первой порции алюминия до получения химанализа первой пробы, обеспечивает сокращение продолжительности внепечной обработки за счет использования времени ожидания химанализа (5 - 6мин) для исправления подогревом температуры металла в ковше.

Корректировку содержания алюминия заявляемым способом производят либо присадкой в ковш второй порции алюминия после получения химанализа, либо выжиганием кислородом лишнего его количества.

Заявляемый способ обеспечивает продолжительность внепечной обработки: усреднительная продувка, совмещенная с обдувом кислородом поверхности расплава 3 - 5мин; подогрев и исправление металла в период ожидания химического анализа - 5 - 6мин; коррекция химического состава - 2 - 3мин; обработка порошкообразным силикокальцием совмещается с микролегированием и модифицированием титаном и РЗМ - 3 - 4мин; рафинирующая обработка аргоном - 2 - 3мин.

Общая продолжительность обработки 15 - 21мин.

Продолжительность операций по способу-прототипу: усреднительная продувка, совмещенная с обработкой стали порошкообразным силикокальцием - 5 - 8мин; корректировка температуры металла погружением сляба, совмещенная с ожиданием химического анализа - 5 - 6мин; коррекция химического состава, микролегирование, модифицирование - 3 - 5мин; рафинирующая обработка аргоном 3 - 4мин.

Общая продолжительность внепечной обработки - 16 - 22мин.

Продолжительность обработки с применением продувки металла кислородом через погружаемую фурму по способу-аналогу, с использованием приемов ускорения внепечной обработки по заявляемому способу: усреднительная продувка кислородом с расходами  $0,01 - 0,05\text{м}^3/\text{т.мин}$ . продолжительность - 6 - 9мин; подогрев и исправление металла в период ожидания химического анализа первой пробы - 5 - 6мин; замена кислородной фурмы на аргонную - 3 - 4мин;

коррекция химического состава, совмещенная с обработкой порошкообразным силикокальцием, модифицированием и микролегированием РЗМ - 4 - 5 мин;  
рафинирующая обработка аргоном - 2 - 3 мин.

Общая продолжительность обработки 20 - 27 мин.

Таким образом, заявляемый способ по общему времени нахождения ковша с металлом на УДМ не уступает способу-прототипу и существенно технологичнее способа-аналога, а более эффективнее исправление шлака в начале внепечной обработки способствует снижению уровня отсортировки плавов по химическому составу, по сравнению со способами аналогом и прототипом. Используемый в заявленном способе прием обработки стали порошкообразным силикокальцием после проведения операции исправления шлака и металла, приводит к повышению эффективности десульфурации по сравнению со способом-аналогом и, особенно, со способом-прототипом, в котором продувку порошкообразным силикокальцием производят в начале внепечной обработки стали на УДМ, при неподготовленном для десульфурации шлаке (вязкий гетерогенный шлак с высоким содержанием FeO).

Таким образом, комплекс отличительных признаков заявляемого способа позволяет решать задачу выплавки в конвертере стали без учета потерь тепла на внепечную обработку низкосернистой стали, с повышением экономической эффективности производства и качества литых слябов, что невозможно осуществить известными способами. Это позволяет характеризовать отличительные признаки заявляемого способа производства конвертерной стали критерием "существенные отличия".

Указанные выше преимущества заявляемого способа подтверждаются примерами его реализации (1 - 6, таблица 1), не исключающих другие решения в объеме заявки.

Опытные плавки стали 13Г1СУ выплавлены в 140-т конвертере с контролем расхода чугуна, температуры и химического состава металла перед выпуском плавки. В процессе выпуска в ковш присаживали твердую шлакообразующую смесь из 1,2т извести и 0,3т плавикового шпата, алюминий и силикокальций, коксик. Конвертерный шлак отсекали в конце выпуска плавки быстрым подъемом конвертера.

Плавки подавали на УДМ для усреднения и доводки химического состава, а также дополнительной десульфурации порошкообразным силикокальцием. По требованиям технических условий химический состав готовой стали должен соответствовать: С - 0,11 - 0,15, Mn 1,45 - 1,65, Si 0,40 - 0,60, S ≤ 0,007, P ≤ 0,025, Al 0,02 - 0,05, Ti 0,010 - 0,035.

Пример 1. Плавка выпущена из конвертера с температурой 1660°C. В процессе выпуска, продолжительностью 5 мин, в ковш с хромомagneзитовой футеровкой, присаживали ТШС, 2,6т силикомарганца, 0,15т ферросилиция и 290кг вторичного алюминия, при этом 90кг алюминия давали на дно ковша перед выпуском плавки. Вместе с ТШС в ковш присаживали 140кг кускового силикокальция марки СК-15 и 180кг коксика.

После выпуска ковш подавали на УДМ, где на сталевозе проводили внепечную обработку по заявленным нижним пределам расхода кислорода на обдув поверхности расплава и продувку погруженной в металл кислородной фурмы.

Расход кислорода на обдув поверхности при усреднительной продувке азотом составил 0,0027 м<sup>3</sup>/т.мин, что по отношению к расходу кислорода при продувке (0,08 м<sup>3</sup>/т.мин) составляет 1 : 30. Время усреднительной продувки - 5 мин, обеспечило расплавление конгломератов ТШС в шлаке. Температура металла после усреднительной продувки была равна 1600°C.

При обдувке расплава сопло фурмы находилось на уровне поверхности шлака в ковше. После усреднительной продувки азотная фурма извлекалась из ковша, отбиралась проба металла и шлака и кислородная фурма погружалась в металл до уровня 50мм от днища ковша при расходе кислорода 0,08 м<sup>3</sup>/т мин. При погружении фурмы в ковш присадили 75кг вторичного алюминия (5 чушек). Продолжительность продувки кислородом - 6 мин, до получения химического анализа первой пробы (%): 0,12 С, 1,55 Mn, 0,45 Si, 0,009 S, 0,20 P и 0,06 Al.

Температура металла после извлечения кислородной фурмы была равна 1590°C.

Так как металл не требовал коррекции химсостава, то после продувки кислородом, металл обрабатывали порошкообразным силикокальцием (СК-25) в струе азота, через погружаемую азотную фурму. Время обработки - 4 мин при расходе силикокальция - 60кг/мин. В процессе обработки SiCa в ковш присадили 0,14т ферротитана (ФТиЗ<sup>3</sup>).

После окончания продувки силикокальцием металл продували 3 мин одним азотом, отбирали пробу шлака и металла, поверхность шлака засыпали теплоизолирующей засыпкой и ковш подавали на МНЛЗ. Температура стали после обработки на УДМ была 1570°C.

Общая продолжительность нахождения ковша на УДМ составила 18 мин. Химический состав готовой стали (%): 0,12 С, 1,53 Mn, 0,53 Si, 0,006 S, 0,021 P, 0,04 Al и 0,02 Ti, полностью удовлетворял требованиям ТУ.

Степень десульфурации силикокальцием составила (0,009 - 0,006) : 0,009 - 33%. Сравнительно низкая степень десульфурации была связана с малой интенсивностью перемешивания металла и шлака в ковше при продувке кислородом и малой степенью формирования гомогенного шлака в ковше из-за малых расходов кислорода на обдув поверхности расплава. В результате этого содержание FeO в шлаке после усреднительной продувки понизилось лишь с 4,0 до 3,0%, а после подогрева - до 1,5%, что ухудшило десульфурацию. Дополнительный расход алюминия на обработку составил 75кг или 0,54кг/т. Плавка на МНЛЗ разлита полностью, без замечаний. Футеровка днища - без повреждений. Скрапина на днище ковша ~1,5т.

Пример 2. Опробован вариант обработки стали в ковше с максимальными заявленными пределами расходов кислорода на обдув поверхности расплава (0,4 м<sup>3</sup>/т.мин) и продувку (0,4 м<sup>3</sup>/т мин) при их соотношении 1 : 1. Плавка возвращена на повторную обработку из-за аварийной остановки МНЛЗ. Количество металла, оставшееся в ковше ~110т, его химсостав (%): 0,11 С, 1,56 Mn, 0,52 Si, 0,005 S, 0,018 P, 0,05 Al, 0,02 Ti. Температура - 1530°C.

После 3 мин усреднительной продувки азотом с обдувом поверхности расплава кислородом химический

состав стал (%): 0,11 С, 1,55 Мн, 0,48 Si, 0,006 S, 0,018 Р, 0,04 Al, 0,01 Ti, температура - 1540°C.

Кислородная фурма была приподнята над поверхностью расплава на ~500мм. Обдув сопровождался выплесками шлака из-под крышки ковша.

После усреднительной продувки и извлечения азотной фурмы отобрали пробу металла и шлака, кислородную фурму погрузили в металл на расстояние ~200мм от дна ковша и продували в течение 7мин. В начале продувки в ковш присаживали 210кг вторичного алюминия, затем, после получения химанализа пробы давали еще 45кг Al. Температура металла после продувки - 1590°C. После обработки кислородом металл в течение 6мин продували азотом. В начале продувки в ковш присадили 0,1т ферротитана и ввели через трайб-аппарат металлическую проволоку заполненную молотым силикокальцием в количестве 1,0кг/т. Температура стали после обработки на УДМ - 1580°C, химсостав (%): 0,11 С, 1,55 Мн, 0,54 Si, 0,005 S, 0,018 Р, 0,05 Al, 0,02 Ti. Общая продолжительность нахождения ковша на УДМ составила 16мин. Плавка без замечаний разлива на МНЛЗ, дно ковша чистое, без заметных повреждений. Расход Al составил 2,3кг/т или 0,042кг/т.град. Суммарный подогрев стали в ковше составил 55°C.

Пример 3. Плавка проведена с поддержанием расходов кислорода на обдув поверхности расплава (0,2м<sup>3</sup>/т мин) и продувку металла (0,3м<sup>3</sup>/т мин) внутри заявленных пределов при соотношении 1 : 1,15.

Выплавку в конвертере и обработку металла во время выпуска в ковш проводили аналогично примеру 1.

После усреднительной продувки азотом с обдувом поверхности расплава кислородом в течение 3мин в ковше образовался однородный шлак. Температура металла после усреднительной продувки была равна 1560°C. В начале продувки кислородом при заглублении фурмы до 100мм от дна ковша в ковш присадили 180кг вторичного алюминия. Продувку кислородом продолжали в течение 5мин до получения химанализа пробы после усреднительной продувки (%): 0,13 С, 1,4 Мн, 0,35 Si, 0,012 S, 0,020 Р, 0,08 Al, после чего продувку продолжали еще 80с для коррекции алюминия в сторону его снижения. В процессе продувки кислородом в ковш присадили 0,2т силикомарганца. Температура металла после продувки кислородом - 1590°C.

Десульфурацию стали порошкообразным силикокальцием проводили в течение 4мин с расходом 60кг/мин, после чего продували в течение 3мин одним азотом. В процессе продувки металла силикокальцием в ковш присадили 0,14т ферротитана.

Температура стали после внепечной обработки - 1575°C, химический состав готовой стали (%): 0,12 С, 1,55 Мн, 0,50 Si, 0,005 S, 0,020 Р, 0,05 Al, 0,02 Ti. Плавка на МНЛЗ разлита полностью, без замечаний. Дно ковша чистое, без повреждений. Степень десульфурации при обработке порошкообразным силикокальцием составила 58,3% при содержании FeO в шлаке до и после обработки 0,8%. Общая продолжительность нахождения ковша на УДМ составила 17мин.

Расход алюминия для подогрева металла на 30°C составил 1,3кг/т или 0,043кг/т.град.

Пример 4. Плавка проведена с расходами кислорода на обдув поверхности расплава (0,002м<sup>3</sup>/т мин) и продувку (0,07м<sup>3</sup>/т мин) при соотношении расходов 1 : 35, что ниже заявленных пределов.

Выплавку в конвертере и обработку в ковш при выпуске плавки в ковш проводили аналогично примеру 1. При обдуве расплава фурма погружалась до границы раздела металл-шлак. По визуальной оценке обдув не сказался на формировании шлака. За 6мин продувки азотом с обдувом поверхности металла кислородом не удалось расплавить конгломераты ТШС. Температура металла после усреднительной продувки - 1600°C. Для продувки кислородом фурма заглублялась до 300мм от дна ковша. В начале продувки кислородом в ковш добавили 105кг алюминия. Через 5мин после получения химанализа первой пробы (%): 0,11 С, 1,35 Мн, 0,34 Si, 0,010 S, 0,019 Р и 0,03 Al, в ковш при продувке кислородом в течение 3мин добавили 30кг алюминия и 0,2т ферромарганца. Температура металла после коррекции химсостава - 1600°C.

Продолжительность обработки стали силикокальцием составила 6мин при его расходе 2,5кг/т. В ковш при продувке силикокальцием добавили 0,14г ферротитана. Рафинирующую продувку азотом проводили в течение 4мин. Температура металла после продувки кислородом была равна 1600°C и после обработки на УДМ - 1565°C. Химический состав готовой стали (%): 0,12 С, 1,65 Мн, 0,42 Si, 0,008 S, 0,020 Р, 0,03 Al и 0,022 Ti. Общая продолжительность пребывания ковша на УДМ составила 24мин.

Из-за высокого содержания FeO в шлаке перед обработкой силикокальцием (2%) степень десульфурации составила 20%. Из-за выпада по содержанию серы (0,008%) плавка была переназначена в сталь 13ГС.

Малый расход кислорода при продувке и существенное удаление сопла фурмы от дна ковша не привели к повышению температуры металла и не устранили полностью настывшие на дно ковша. В конце разлива Стали на МНЛЗ, ковшевой стакан прожигали кислородом. После разлива в ковше был "козел" массой около 3т.

Резкое повышение содержания Мн (на 0,25% выше расчетного) после усреднительной продувки, свидетельствует о дополнительном растворении в стали силикокальция из расплавившихся конгломератов ТШС в шлаке.

Проведенный эксперимент подтвердил недопустимость снижения расходов кислорода ниже заявленных пределов из-за ухудшения условий формирования ковшевого шлака при обдуве поверхности и исправлении металла при продувке.

Пример 5. Плавка проведена с превышением заявленных пределов по расходу кислорода на обдув поверхности расплава (0,5м<sup>3</sup>/т мин) и продувку металла в ковше (0,45м<sup>3</sup>/т мин) при соотношении расходов 1 : 0,9. Опыт проведен на неполном ковше (около 120т) после возвращения с МНЛЗ. Химический состав (%): 0,12 С, 1,50 Мн, 0,48, 0,006, 0,018 Р, 0,045 Al, 0,015 Ti, температура - 1550°C.

Обдув поверхности расплава при усреднительной продувке металла азотом проведен при удалении сопла фурмы на 500мм от поверхности шлака. Через 1мин обдува поверхности расход кислорода был снижен с 0,5 до 0,4м<sup>3</sup>/т мин из-за сильных выплесков металла и шлака из ковша. Общая продолжительность продувки составила 3мин.

Химический состав после усреднительной продувки (%): 0,12 С, 1,0 Мн, 0,44 Si, 0,006 S; 0,017 Р, 0,03 Al, 0,015 Ti, температура 1565°C.

Перед продувкой кислородом в ковш присадили 150кг вторичного алюминия. В начале продувки стали кислородом с расходом  $0,45\text{ м}^3/\text{т}$  мин фурму заглубили практически до дна ковша. Продувка сопровождалась сильной вибрацией кислородной фурмы, а также выплесками металла из ковша. Через 40с продувка кислородом была прекращена из-за разрушения фурмы. После замены фурмы металл продувался кислородом в течение 4мин, с расходом  $0,35\text{ м}^3/\text{т}$  мин. В конце продувки кислородом, после получения химанализа первой пробы в ковш дополнительно присадили 75кг Al. Температура металла  $1600^\circ\text{C}$ . Общий подогрев -  $50^\circ\text{C}$ . Рафинирующая продувка азотом проведена после окончания продувки кислородом в течение 6мин. В первые 2мин продувки азотом в ковш присадили 0,07кг ферротитана и ввели через трайб-аппарат 100кг силикокальция. Химический состав стали (%): 0,12 C, 1,50 Mn, 0,45 Si, 0,005 S, 0,018 P, 0,04 Al, 0,02 Ti. Температура -  $1590^\circ\text{C}$ . Общая продолжительность обработки в ковше - 19мин. Расход алюминия на подогрев 1,9кг/т или 0,038кг/т град. Плавка разлита без замечаний на МНЗЛ. После разливки - ковш чистый, без повреждений.

Проведенный эксперимент показал недопустимость превышения верхних заявленных пределов расходов кислорода на обдув поверхности расплава и продувку металла из-за сильных выплесков металла из ковша, а также разрушения фурмы из-за сильной вибрации.

Пример 6. Воспроизводит технологию прототипа. Выплавку в конвертере проводили с увеличенным на 20кг/т содержанием чугуна в металлошихте, с выпуском полупродукта из конвертера с температурой  $1700^\circ\text{C}$ . Химсостав полупродукта (%): 0,6 C, 0,10 Mn, 0,007 P и 0,012 S.

Обработку плавки в процессе выпуска в ковш проводили аналогично примеру 1, за исключением расхода алюминия, который был увеличен на 30кг и составил 320кг/пл. Перед обработкой на УДМ была отобрана предварительная проба и замерена температура ( $1630^\circ\text{C}$ ). Так как плавка находилась в середине разливаемой серии, то усреднительная продувка азотом, совмещенная с обработкой металла порошкообразным силикокальцием, проводилась до получения химанализа предварительной пробы (1,30 Mn, 0,55 Si, 0,010 S и 0,08 Al). Время усреднительной продувки - 6мин, расход силикокальция - 2,0кг/т. После усреднительной продувки отобрана проба металла №1, замерена температура -  $1620^\circ\text{C}$ , и металл в течение 4мин охлаждался слябом. Повторно продувку азотом начали после получения химического анализа пробы №1, (%): 0,13 C, 1,35 Mn, 0,54 Si, 0,009 S, 0,019 P, 0,07 Al. В процессе продувки азотом в течение 7мин в ковш вводили корректирующую добавку - 0,35 FeMn и 0,14т FeTi. Химсостав готовой стали (%): 0,13 C; 1,55 Mn, 0,65 Si; 0,008 S; 0,019 P; 0,07 Al и 0,015 Ti). Имелись выпадения по содержанию кремния, серы и алюминия, из-за чего плавка была переназначена в сталь 13ГС.

Общая продолжительность плавки - 19мин. Степень десульфурации силикокальцием, из-за высокого содержания FeO (3,5%) в неподготовленном шлаке составила всего 10%.

Таким образом, проведенный эксперимент подтвердил преимущества заявляемой технологии по сравнению с технологией-прототипом, как в отношении снижения температуры металла в конвертере и, связанного с этим, снижением расхода чугуна и повышения стойкости футеровки конвертера, так и создания более благоприятных условий для проведения десульфурации порошкообразным силикокальцием и обеспечения узких пределов заданного химического состава.

Пример 7. Воспроизведена сравнительная технология-аналог с обработкой плавки в ковше на УДМ кислородом через погруженную в металл фурму.

Выплавка в конвертере и обработка в ковше во время выпуска плавки в ковше проведена аналогично примеру 1.

Усреднительная продувка кислородом проведена с заглублением фурмы на 85% высоты ковша при расходе  $0,04\text{ м}^3/\text{т}$  мин и продолжительности - 7мин. Содержание элементов в первой пробе составило (%): 0,13 C, 1,30 Mn, 0,35 Si, 0,009 S, 0,018 P, 0,01 Al. Температура -  $1630^\circ\text{C}$ .

Усреднительная продувка проходила без заметного перемешивания металла и шлака в ковше. В конце обработки в шлаке имелись большие конгломераты нерасплавившейся ТШС. В период ожидания химического анализа (6мин) плавка была охлаждена слябом, а кислородная фурма заменена на азотную фурму. Первые 6мин продувки стали аргоном были совмещены с обработкой металла порошкообразным силикокальцием с расходом 2,5кг/т. В процессе обработки силикокальцием в ковш присажено 0,35т силикомарганца, 105кг Al и 140кг FeTi, после чего проведена рафинирующая обработка азотом в течение 5мин. Химсостав готовой стали (%): 0,13 C, 1,70 Mn, 0,48 Si, 0,007 S, 0,019 P. Температура металла  $1580^\circ\text{C}$ . Из-за неподготовленности шлака при усреднительной продувке имели место выпадения по содержанию марганца в готовой стали и низкая степень десульфурации силикокальцием - 22%. Общая продолжительность обработки плавки без химического подогрева составила 24мин, при дополнительном расходе алюминия 0,75кг/т.

По сравнению с заявляемой технологией, применение кислорода для усреднительной продувки стали в ковше через погруженную в металл одну фурму недопустимо удлиняет продолжительность внепечной обработки и ограничивает ее использование в производственном цикле конвертер - МНЛЗ при снижении температуры металла в конвертере. Кроме того, ухудшается десульфурация силикокальцием и обеспечение узких пределов химического состава стали.

Таким образом, заявляемый способ производства конвертерной стали решает поставленную задачу с гарантированной компенсацией тепловых потерь на внепечную обработку без повышения температуры металла в конвертере, при одновременном повышении качества стали и снижения затрат на ее производство, которая не решается известными способами, что может быть характеризовано как существенная новизна.

Т а б л и ц а

Наименование параметров	№№ примеров						
	в заявленных пределах			вне заявленных		прото- тип	аналог
	1	2	3	4	5	6	7
Заглубление кислород- ной фурмы при подогре- ве, мм от дна ковша	50	200	100	10	300	нет	300
Расход газа, м <sup>3</sup> /т. мин:							
при усреднении O <sub>2</sub>	0,027	0,4	0,2	0,002	0,5	0	0,04
N <sub>2</sub>	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0
при подогреве O <sub>2</sub>	0,08	0,4	0,3	0,07	0,5	0	0,3
N <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0
при коррекции химсоста- ва O <sub>2</sub>	0,08	0,4	0,2	0,06	0,5	0	0
N <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0,004	0,004
при рафинировании O <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0
N <sub>2</sub>	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Температура стали °С:							
в конвертере,	1660	—	1660	1660	—	1700	1660
после усреднения	1600	1540	1560	1600	1565	1600	1560
в конце обработки	1570	1580	1575	1565	1590	1570	1580
Содержание (FeO) в ковшовом шлаке, %:							
перед обработкой—	4,0	0,8	3,5	4,0	0,8	3,0	3,0
после усреднения	3,0	1,2	1,5	3,0	1,0	2,5	2,5
после подогрева и							
коррекции химсостава	1,5	1,2	0,8	2,0	0,8	1,2	1,8
в конце обработки	1,2	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8

Степень десульфурации SiCa, %	33	—	58,3	20	—	10	22
Продолжительность об- работки на УДМ, мин	18	16	17	24	19	19	24
Расход Al на УДМ, кг/т	0,54	2,3	1,3	0,75	1,9	0	0,75
Содержание серы в гото- вой стали, %	0,006	0,006	0,005	0,008	0,005	0,008	0,007
Состояние днища ковша после разливки	удовл., скрапи- на по перифе- рии дни- ща ~1 т	чистое, без по- врежде- ний	чистое, без по- врежде- ний	"козел" ~3 т	чистый без раз- руше- ний футе- ровки	скрапи- на по перифе- рии ~1 т	чистый без по- врежде- ний