

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **039785**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.03.14

(21) Номер заявки
202090730

(22) Дата подачи заявки
2018.09.21

(51) Int. Cl. **C01B 3/34** (2006.01)
C10J 3/00 (2006.01)
C21B 5/06 (2006.01)

(54) **СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕГО СИНТЕЗ-ГАЗА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

(31) **LU100453**

(32) **2017.09.25**

(33) **LU**

(43) **2020.09.30**

(86) **PCT/EP2018/075683**

(87) **WO 2019/057930 2019.03.28**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ПОЛЬ ВУРТ С.А. (LU)

(72) Изобретатель:
**Кинцель Клаус Петер (LU), Бермес
Филипп (DE), Агравал Ананд Кумар
(LU)**

(74) Представитель:
**Веселицкая И.А., Веселицкий М.Б.,
Кузенкова Н.В., Каксис Р.А., Белоусов
Ю.В., Куликов А.В., Кузнецова Е.В.,
Соколов Р.А., Кузнецова Т.В. (RU)**

(56) **GB-A-1247417
US-A-4005986
BE-A-809209
WO-A1-2010049536
JP-A-2001240906
US-A1-2013344450**

(57) Описан способ производства синтез-газа, в частности, для использования в качестве восстановительного газа в доменной печи, включающий получение топливного газа, представляющего собой углеводородсодержащий газ, получение промышленного газа, представляющего собой CO₂- и/или H₂O-содержащий газ, смешивание топливного газа и промышленного газа для образования газовой смеси, выполнение нагрева и риформинга газовой смеси внутри аккумулятора (56) тепла, такого как, например, воздухонагреватель доменной печи или нагреватель с твердым теплоносителем, для производства горячего синтез-газа при температуре выше 700°C и ниже 1700°C. Кроме того, описан способ управления работой доменной печи, включающий получение такого синтез-газа и его подачу в качестве восстановительного газа в доменную печь (12).

039785
B1

039785
B1

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к способу производства горячего синтез-газа, в частности, для использования в качестве восстановительного газа в доменной печи. Изобретение также относится к способу управления работой доменной печи с использованием упомянутого горячего синтез-газа в качестве восстановительного газа.

Уровень техники

С доменными печами, широко используемыми в металлургической промышленности, всегда была связана потребность в нахождении способа повышения эффективности их работы.

Одной из проблем, связанных с комплексом доменной печи, является выходящий из этой печи колошниковый (доменный) газ. Простой выпуск этого доменного газа в атмосферу, допустимый ранее, уже давно считается непроизводительным расходом ресурсов и чрезмерной нагрузкой на окружающую среду. Действительно, ряд характеристик колошникового газа позволяет использовать его в других областях. Для такого использования колошникового газа (например, с целью производства энергии) служат газоочистные установки, предварительно удаляющие из него нежелательные и/или вредные компоненты. Одним из таких вредных компонентов в колошниковом газе является CO_2 . Колошниковый газ, выходящий из доменной печи, обычно содержит CO_2 в концентрации от 20 до 30%.

В течение многих лет предпринимались попытки снижения эмиссии CO_2 из доменных печей с целью внесения вклада в общемировое снижение эмиссии CO_2 .

Было предложено, главным образом по соображениям снижения количества используемого кокса, улавливание колошникового газа, выходящего из доменной печи, и вдувание его обратно в доменную печь для поддержания восстановительного процесса. Были предложены устройства для разделения улавливаемого колошникового газа на газ с высоким содержанием CO_2 , предназначенный для использования или хранения в каких-либо целях, и газ с низким содержанием CO_2 , предназначенный для вдувания обратно в доменную печь с целью обеспечения снижения расхода кокса.

Колошниковый газ может быть подвергнут риформингу для снижения содержания в нем CO_2 , например, с помощью предложенного в публикации US 3884677 способа, в котором ископаемое топливо добавляют в колошниковый газ для частичной конверсии двуокиси углерода и пара и образования окиси углерода и водорода. Газовая смесь образует синтез-газ, который может быть использован в доменной печи в качестве восстановительного газа. Этот процесс требует нагрева колошникового газа до очень высокой температуры, составляющей от 1800 до 2000°C, с целью обеспечения реакции с ископаемым топливом и разложения двуокиси углерода. Для достижения требуемой температуры необходимо частичное сгорание колошникового газа.

В настоящее время более распространенным способом снижения содержания CO_2 в колошниковом газе является, как показано, например, в публикации US 6478841, адсорбция при переменном давлении (АПД или PSA от англ. Pressure Swing Adsorption) или вакуумная адсорбция при переменном давлении (ВАПД или VPSA от англ. Vacuum Pressure Swing Adsorption). Установки АПД/ВАПД создают первый поток газа с высоким содержанием CO и H_2 и второй поток газа с высоким содержанием CO_2 и H_2O . Первый поток газа может быть использован в качестве восстановительного газа при вдувании его обратно в доменную печь. Второй поток газа может быть удален из установки и после отвода остаточного тепла направлен на утилизацию. Эта утилизация, законность которой вызывает вопросы, заключается в закачке газа с высоким содержанием CO_2 в подземные пласты-хранилища. Кроме того, хотя установки АПД/ВАПД позволяют значительно снизить содержание CO_2 в колошниковом газе с приблизительно 35% до приблизительно 5%, эти установки требуют значительного пространства, а затраты на их приобретение, техническое обслуживание и эксплуатацию являются очень высокими.

Техническая задача

Исходя из вышеизложенного, одной из задач настоящего изобретения является создание усовершенствованного способа производства горячего синтез-газа. Эта задача решается с помощью способа, заявленного в п.1 формулы изобретения.

Другой задачей настоящего изобретения является создание усовершенствованного способа эксплуатации доменной печи. Эта задача решается с помощью способа, заявленного в п.10 формулы изобретения.

Сущность изобретения

В изобретении предлагается способ производства горячего синтез-газа для использования в качестве восстановительного газа в доменной печи, включающий

получение (обеспечение) топливного газа, представляющего собой углеводородсодержащий газ, включающий коксовый газ,

получение (обеспечение) промышленного газа, представляющего собой CO_2 - и/или H_2O -содержащий газ,

смешивание, до выполнения нагрева, топливного газа и промышленного газа для образования газовой смеси,

осуществление нагрева и риформинга газовой смеси внутри одного и того же аккумулятора тепла, такого как, например, воздухонагреватель доменной печи (часто называемый каупером) или нагреватель

с твердым теплоносителем, для производства горячего синтез-газа при температуре выше 700°C и ниже 1700°C, причем аккумулятор тепла нагревают посредством по меньшей мере одного попутного газа сталеплавильного производства, содержащего колошниковый газ.

Перед этапом нагрева и риформинга газовая смесь может быть подвергнута предварительному нагреву.

Топливный газ и/или промышленный газ может быть подвергнут сжатию до и/или после этапа смешивания, в результате чего образуется сжатый синтез-газ.

Процесс риформинга может представлять собой сухой риформинг, а промышленный газ - CO₂-содержащий газ, и/или процесс риформинга может представлять собой паровой риформинг, а промышленный газ - H₂O-содержащий газ.

При проведении такого процесса риформинга смеси промышленного и топливного газов при температуре выше 700°C и ниже 1700°C CO₂-компонент промышленного газа может вступать с углеводородом топливного газа, например, в следующую реакцию: $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow 2 \text{H}_2 + 2 \text{CO}$. В свою очередь, H₂O-компонент промышленного газа может вступать с углеводородом топливного газа, например, в следующую реакцию: $\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4 \rightarrow 3 \text{H}_2 + \text{CO}$. Таким образом, экологически вредная и не имеющая ценности с промышленной точки зрения двуокись углерода CO₂ может быть преобразована в применимую в промышленности окись углерода CO.

Можно ожидать, что результатом получения такого синтез-газа и подачи его в доменную печь в качестве восстановительного газа станет общее снижение эмиссии CO₂ из работающей доменной печи в диапазоне от 10 до 30%. Кроме того, использование такого синтез-газа в доменной печи может привести к эквивалентному снижению удельного расхода кокса в доменной печи, составляющему приблизительно от 50 до 200 кг на 1 т горячего металла.

Следует отметить, что смешивание топливного и промышленного газов предпочтительно выполняется до вхождения потока в аккумулятор тепла. В альтернативном варианте смешивание может происходить внутри аккумулятора тепла, причем топливный и промышленный газы подаются в аккумулятор тепла в разных местах.

Для выполнения процесса риформинга газовую смесь предпочтительно нагревают до температуры выше 800°C, более предпочтительно между 900 и 1600°C.

Процесс риформинга протекает при повышенном давлении. Это давление обычно соответствует требованиям, предъявляемым к давлению в доменной печи, и предпочтительно находится в диапазоне от 2 до 7 бар. Согласно одному варианту осуществления изобретения давление топливного и промышленного газов повышают раздельно, после чего выполняется их смешивание. Согласно другому варианту осуществления изобретения топливный и промышленный газы смешивают при нормальном давлении, после чего повышают давление газовой смеси.

Процесс риформинга предпочтительно протекает без катализатора. Действительно, при высоких температурах для протекания реакции в процессе риформинга отсутствует настоятельная необходимость в катализаторе. Это, однако, не исключает возможности использования катализатора для ускорения процесса. Такой катализатор может присутствовать, например, в форме огнеупорного материала, находящегося в аккумуляторе тепла и обладающего каталитическими свойствами.

Топливный газ может содержать коксовый газ, биогаз и/или природный газ. Промышленный газ может содержать колошниковый газ, пар и/или конвертерный газ.

Нагрев аккумулятора тепла предпочтительно осуществляется посредством по меньшей мере одного попутного газа сталеплавильного производства. Этот попутный газ сталеплавильного производства, т.е. газ любого типа, образующийся в процессе производства стали, предпочтительно содержит колошниковый газ, конвертерный газ и/или газ пиролиза биомассы.

Настоящее изобретение также относится к способу эксплуатации доменной печи, включающему получение горячего синтез-газа согласно способу, описанному выше, и подачу горячего синтез-газа в качестве восстановительного газа в доменную печь.

Этот способ позволяет эффективно использовать в доменной печи ощутимое тепло горячего синтез-газа и, следовательно, содержащуюся в нем энергию.

Синтез-газ, подаваемый в доменную печь, предпочтительно заменяет, по меньшей мере, некоторое количество горячего дутья, кокса и/или вспомогательного топлива (например, угля или природного газа). Тем самым может быть снижено количество используемого горячего дутья, кокса и/или вспомогательного топлива. Если в доменную печь подается как горячее дутье, так и синтез-газ, то это может осуществляться, например, путем вдувания в доменную печь соответствующего газа через фурмы, расположенные чередующимся образом.

До подачи синтез-газа в доменную печь он может быть нагрет посредством энергии плазмы. Результатом этого может быть дальнейшее снижение удельного расхода кокса благодаря высокой температуре синтез-газа и значительно меньшая потребность в кислороде для поддержания адиабатической температуры горения в зоне окисления. Поскольку для получения плазмы может быть использована энергия от возобновляемого источника, это может иметь следствием дальнейшее снижение количества CO₂.

Горячий синтез-газ предпочтительно подается в доменную печь на уровне ее фурм и/или в какой-либо области, расположенной в нижней части ее шахты.

Первая часть колошникового газа может подаваться в смесительную камеру для смешивания с топливным газом и образования газовой смеси для получения синтез-газа.

Вторая часть колошникового газа может подаваться в горелку аккумулятора тепла для нагрева последнего. Остаточное тепло колошникового газа может быть передано насадочному кирпичу в аккумуляторе тепла для последующей передачи газовой смеси.

Третья часть колошникового газа может подаваться в горелку аккумулятора тепла горячего дутья для нагрева холодного дутья и производства горячего дутья. Остаточное тепло колошникового газа может быть передано насадочному кирпичу в аккумуляторе тепла горячего дутья для последующей передачи холодному дутью. Таким образом, часть колошникового газа по-прежнему может быть использована традиционным образом для производства горячего дутья.

Согласно варианту осуществления изобретения один и тот же аккумулятор тепла может быть использован попеременно для получения синтез-газа и горячего дутья. В процессе получения синтез-газа в аккумуляторе тепла могут осаждаться углеродные частицы. В последующем процессе производства горячего дутья в том же аккумуляторе тепла эти углеродные частицы могут сгорать, что приводит к регенерации аккумулятора тепла. В первом цикле колошниковый газ подается в горелку аккумулятора тепла для нагрева его теплоудерживающего кирпича. Во втором цикле газовая смесь, образованная колошниковым и коксовым газами, пропускается через аккумулятор тепла для получения синтез-газа. В третьем цикле колошниковый газ снова подается в горелку аккумулятора тепла для нагрева его теплоудерживающего кирпича. В четвертом цикле холодное дутье пропускается через аккумулятор тепла для производства горячего дутья в процессе сгорания углеродных частиц, захваченных в аккумуляторе тепла.

Согласно предпочтительному варианту осуществления изобретения, синтез-газ, полученный в одном аккумуляторе тепла, может быть подан в более чем одну доменную печь. На сталеплавильных предприятиях с более чем одной доменной печью синтез-газ, полученный в одном аккумуляторе тепла, может быть подан в разные доменные печи.

Краткое описание чертежа

Предпочтительные варианты осуществления изобретения описаны ниже в качестве примера со ссылками на приложенный чертеж, на котором показано схематическое изображение комплекса доменной печи, подходящего для реализации способа работы доменной печи, предлагаемого в изобретении.

Описание предпочтительных вариантов осуществления изобретения

На прилагаемом чертеже в целом показан комплекс 10 доменной печи, включающий доменную печь 12. В верхнюю часть 16 доменной печи 12 обычно загружается порция кокса 18 и порция руды 20, тогда как в нижнюю часть 22 доменной печи 12 обычно подается топливо 24 и кислород 26. Извлечение чугуна 28 в чушках и шлака 30 из доменной печи 12 производится в нижней ее части 22. Работа самой доменной печи хорошо известна и не является предметом дальнейшего рассмотрения в настоящем описании.

Комплекс 10 доменной печи также содержит газоотводы 40 для удаления колошникового газа из доменной печи 12. Отводимый колошниковый газ поступает в газоотводный трубопровод 42, содержащий распределительный клапан 44. Комплекс 10 доменной печи может включать газоочистную установку 43, расположенную между газоотводами 40 и распределительным клапаном 44 и предназначенную для очистки газа, отводимого из доменной печи 12, главным образом с целью удаления из него твердых частиц.

В распределительном клапане 44 по меньшей мере часть отводимого колошникового газа направляется через трубу первой линии 46 подачи в смесительную камеру 48. Для подачи в смесительную камеру 48 коксового газа предусмотрена труба второй линии 50. Внутри смесительной камеры 48 колошниковый и коксовый газы смешиваются друг с другом, образуя газовую смесь. Затем эта газовая смесь направляется через трубу третьей линии 52 подачи, которая может включать компрессор или воздуходувку 54, в аккумулятор 56 тепла, представляющий собой в данном случае воздухонагреватель доменной печи (каупер). В аккумуляторе 56 тепла газовая смесь нагревается до высокой температуры, подвергаясь тем самым процессу сухого риформинга. Сухой риформинг считается экологически благоприятным процессом, поскольку два основных газа, вызывающих парниковый эффект, а именно CH_4 , присутствующий в коксовом газе, и CO_2 , присутствующий в колошниковом газе, используются в нем для получения ценного синтез-газа в соответствии со следующей реакцией: $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow 2 \text{H}_2 + 2 \text{CO}$. Процесс сухого риформинга протекает внутри аккумулятора 56 тепла при высокой температуре, составляющей по меньшей мере 800°C , и не требует присутствия катализатора. В общем случае температура составляет более 700°C и менее 1700°C , предпочтительно находится между 900 и 1600°C . Хотя необходимость в катализаторе фактически отсутствует, его использование, тем не менее, не исключается. Например, в аккумуляторе 56 тепла может быть предусмотрен огнеупорный материал, обладающий каталитическими свойствами.

После этого полученный синтез-газ поступает в качестве восстановительного газа через трубу четвертой линии 58 подачи обратно в доменную печь 12 на уровне фурм или нижней части шахты.

Процесс сухого риформинга обеспечивает снижение содержания CO_2 приблизительно на 10-30%.

Наряду с экономией средств, предназначенных для снижения содержания CO_2 , способ обеспечивает экономии кокса и угля, вдуваемого в доменную печь. Действительно, предварительная оценка показывает, что эквивалентное снижение удельного расхода кокса составляет приблизительно от 40 до 200 кг на 1 т горячего металла.

В распределительном клапане 44 по меньшей мере часть отводимого колошникового газа может быть направлена через трубу пятой линии 60 подачи в горелку аккумулятора 56 тепла для нагрева последнего перед передачей этого тепла газовой смеси.

В распределительном клапане 44 по меньшей мере часть отводимого колошникового газа может быть направлена через трубу шестой линии 62 подачи в аккумулятор 64 тепла горячего дутья для нагрева последнего перед передачей этого тепла холодному дутью 66 (или холодному дутью, обогащенному кислородом). В традиционном аккумуляторе 64 горячего дутья холодное дутье 66 нагревается до производства горячего дутья 68, которое подается в доменную печь 12 обычно на уровне фурм.

В общем случае нагрев аккумулятора 56 тепла предпочтительно осуществляется посредством по меньшей мере одного попутного газа сталеплавильного производства. Этот попутный газ сталеплавильного производства предпочтительно содержит колошниковый газ, конвертерный газ и/или газ пиролиза биомассы.

Благодаря вдуванию синтез-газа в доменную печь 12 в качестве восстановительного газа может быть снижено количество подаваемого в эту печь горячего дутья 68. По существу, горячее дутье 68 может быть в значительной степени заменено синтез-газом. Если в доменную печь подается как горячее дутье, так и синтез-газ, то это может осуществляться, например, путем вдувания соответствующего газа в доменную печь через чередующиеся фурмы (не показаны). Синтез-газ может благоприятным образом подаваться в доменную печь 12 на уровне фурм горна и/или в какой-либо области этой печи, расположенной над зоной плавления (не показано подробно на чертеже). Перед подачей в доменную печь 12 синтез-газ может, по выбору, подвергаться нагреву посредством энергии плазмы.

Хотя показанный на чертеже комплекс 10 доменной печи содержит аккумулятор 56 тепла, предназначенный для получения синтез-газа, и аккумулятор 64 тепла горячего дутья, предназначенный для производства горячего дутья, может быть также предусмотрено попеременное использование одного аккумулятора тепла в обеих упомянутых целях. Действительно, в процессе получения синтез-газа в аккумуляторе тепла могут осажаться углеродные частицы. В последующем процессе производства горячего дутья в том же аккумуляторе тепла эти углеродные частицы могут сгорать, что приводит к регенерации аккумулятора тепла. В первом цикле колошниковый газ подается в горелку аккумулятора тепла для нагрева его теплоудерживающего кирпича. Во втором цикле газовая смесь, образованная колошниковым и коксовым газами, пропускается через аккумулятор тепла для получения синтез-газа. В третьем цикле колошниковый газ снова подается в горелку аккумулятора тепла для нагрева его теплоудерживающего кирпича. В четвертом цикле холодное дутье пропускается через аккумулятор тепла для производства горячего дутья.

Комплекс доменной печи традиционно включает несколько (обычно в количестве трех) аккумуляторов тепла для обеспечения непрерывного производства горячего дутья. В общем случае каждая доменная печь содержит аккумуляторы тепла, предназначенные для нее. Получение синтез-газа позволяет значительно уменьшить количество горячего дутья. Следовательно, на сталеплавильных предприятиях, где имеется более одной доменной печи, аккумуляторы тепла одной доменной печи могут использоваться для получения синтез-газа, тогда как аккумуляторы тепла другой доменной печи могут использоваться для производства горячего дутья. Затем синтез-газ и горячее дутье могут подаваться в обе доменные печи без необходимости включения в комплекс дополнительных аккумуляторов тепла.

Часть полученного синтез-газа может поступать в какую-либо отдельную установку, такую как, например, химическая установка. Таким образом, избыток синтез-газа может быть использован для производства химических веществ.

Ссылочные обозначения.

- 10 - Комплекс доменной печи,
- 12 - доменная печь,
- 16 - верхняя часть,
- 18 - порция кокса,
- 20 - порция руды,
- 22 - нижняя часть,
- 24 - топливо,
- 26 - кислород,
- 28 - чугун в чушках,
- 30 - шлак,
- 40 - газоотводы,
- 42 - газоотводный трубопровод,
- 43 - газоочистная установка,
- 44 - распределительный клапан,

- 46 - первая линия подачи,
- 48 - смешительная камера,
- 50 - вторая линия подачи,
- 52 - третья линия подачи,
- 54 - компрессор или воздуходувка,
- 56 - аккумулятор тепла,
- 58 - четвертая линия подачи,
- 60 - пятая линия подачи,
- 62 - шестая линия подачи,
- 64 - аккумулятор тепла горячего дутья,
- 66 - холодное дутье,
- 68 - горячее дутье.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ производства горячего синтез-газа для использования в качестве восстановительного газа в доменной печи, включающий
 - получение топливного газа, представляющего собой углеводородсодержащий газ, включающий коксовый газ;
 - получение промышленного газа, представляющего собой CO_2 - и/или H_2O -содержащий газ;
 - смешивание, до выполнения нагрева, топливного газа и промышленного газа для образования газовой смеси;
 - осуществление нагрева и риформинга газовой смеси внутри одного и того же аккумулятора тепла для производства горячего синтез-газа при температуре выше 700°C и ниже 1700°C , причем аккумулятор тепла нагревают посредством по меньшей мере одного попутного газа сталеплавильного производства, содержащего колошниковый газ.
2. Способ по п.1, в котором газовую смесь подвергают предварительному нагреву перед этапом нагрева и риформинга.
3. Способ по п.1 или 2, в котором топливный газ и/или промышленный газ подвергают сжатию до и/или после этапа смешивания.
4. Способ по одному из пп.1-3, в котором упомянутый аккумулятор тепла представляет собой воздуонагреватель доменной печи или нагреватель с твердым теплоносителем.
5. Способ по одному из пп.1-4, в котором
 - промышленный газ представляет собой CO_2 -содержащий газ, а процесс риформинга представляет собой сухой риформинг, и/или
 - промышленный газ представляет собой H_2O -содержащий газ, а процесс риформинга представляет собой паровой риформинг.
6. Способ по одному из пп.1-5, в котором процесс риформинга осуществляют без катализатора.
7. Способ по одному из пп.1-6, в котором топливный газ содержит биогаз и/или природный газ.
8. Способ по одному из пп.1-7, в котором промышленный газ содержит колошниковый газ, пар и/или конвертерный газ.
9. Способ по одному из пп.1-8, в котором аккумулятор тепла нагревают посредством по меньшей мере одного попутного газа сталеплавильного производства, предпочтительно содержащего конвертерный газ и/или газ пиролиза биомассы.
10. Способ эксплуатации доменной печи, включающий
 - производство горячего синтез-газа согласно способу по одному из пп.1-9 и
 - подачу горячего синтез-газа в качестве восстановительного газа в доменную печь.
11. Способ по п.10, в котором горячий синтез-газ, подаваемый в доменную печь, заменяет, по меньшей мере, некоторое количество горячего дутья, кокса и/или вспомогательного топлива.
12. Способ по п.10 или 11, в котором промышленный газ представляет собой колошниковый газ.
13. Способ по п.12, в котором часть колошникового газа подают в смешительную камеру для смешивания с топливным газом и образования газовой смеси.
14. Способ по п.12 или 13, в котором часть колошникового газа подают в аккумулятор тепла горячего дутья для нагрева холодного дутья и производства горячего дутья.
15. Способ по одному из пп.10-14, в котором упомянутый аккумулятор используют попеременно для получения синтез-газа и горячего дутья.
16. Способ по одному из пп.10-15, в котором до подачи синтез-газа в доменную печь его нагревают посредством энергии плазмы.
17. Способ по одному из пп.10-16, в котором горячий синтез-газ подают в доменную печь на уровне фурм горна доменной печи и/или в область доменной печи, расположенной над зоной плавления.

