

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **037307**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента 2021.03.09	(51) Int. Cl. <i>C22C 38/02</i> (2006.01) <i>C21D 9/08</i> (2006.01) <i>C22C 38/04</i> (2006.01) <i>C22C 38/40</i> (2006.01) <i>C22C 38/42</i> (2006.01) <i>C22C 38/44</i> (2006.01) <i>C22C 38/48</i> (2006.01) <i>C22C 38/50</i> (2006.01)
(21) Номер заявки 201800409	
(22) Дата подачи заявки 2017.02.02	

(54) КОМПОЗИЦИИ СТАЛИ С УЛУЧШЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ ПРОТИВ НАГАРООБРАЗОВАНИЯ

(31) 1650832	(56) JP-A-2006265663
(32) 2016.02.02	EP-A1-0949347
(33) FR	EP-A1-1223230
(43) 2018.12.28	US-A1-2004234409
(86) PCT/FR2017/050243	JP-A-S58224148
(87) WO 2017/134396 2017.08.10	EP-A1-1299569
(71)(73) Заявитель и патентовладелец: ВАЛЛУРЕК ТЬЮБС ФРАНС (FR)	WO-A2-2016010599
(72) Изобретатель: Росси Валентин, Бонилла Ангуло Фернандо Андрес, Далси Николас (FR)	EP-A1-1403394
(74) Представитель: Кузнецова С.А. (RU)	

(57) Изобретение относится к области сталей особого назначения, в частности сталей, которые предназначены для контакта с дымами, образуемыми при горении. Настоящее изобретение также касается трубчатых компонентов, выполненных на основе таких сталей. Данная сталь не только является устойчивой к явлению нагарообразования, но также обладает улучшенными механическими характеристиками. Данная сталь содержит не более 0,15 вес.% углерода (C), от 0,3 до 1 вес.% марганца (Mn), от 1,4 до 3 вес.% кремния (Si), от 0,5 до 3 вес.% меди (Cu), от 8 до 10 вес.% хрома (Cr), от 0,5 до 3 вес.% никеля (Ni), от 0,01 до 0,07 вес.% азота (N), от 0,8 до 1,1 вес.% молибдена (Mo), при этом оставшаяся часть композиции, по существу, содержит железо (Fe) и примеси.

B1

037307

037307 B1

Настоящее изобретение относится к области сталей особого назначения, в частности сталей, которые предназначены для контакта с дымами, образуемыми при горении. Настоящее изобретение также касается трубчатых компонентов, выполненных из таких сталей.

Оборудование для обработки и преобразования нефтяных продуктов включает множество установок, таких как печи, резервуары, реакторы и вытяжные трубы, которые соединены между собой посредством трубопроводов. Стенки данных установок и трубопроводов преимущественно состоят из стали.

Стали, приспособленные для вышеуказанного оборудования, должны обладать механическими характеристиками, подходящими для жестких условий, таких как высокие температуры и высокие нагрузки. В противном случае ускоренное старение ухудшает свойства компонента. Таким образом, считается, что следует регулировать кристаллическую структуру сталей. Исходя из этого, в стандартах, например, ASTM A335/A335M или EN10216-2, указаны диапазоны содержания нескольких типичных химических элементов. Соблюдение требований стандартов является весьма желательным не только для того, чтобы избежать получения кристаллических структур, которые несовместимы с требуемыми механическими свойствами, но и для устранения необходимости проведения многочисленных долгосрочных и дорогостоящих тестов соответствия. Более того, производство стали, максимально приближенной к требованиям стандартов, позволяет улучшить ее приемлемость в промышленном секторе.

Данные стандарты также определяют семейства композиций легирующих сталей, механические свойства которых рассмотрены, а ргоіg, как удовлетворительные для приведенного применения.

Вступая в контакт с дымами, содержащими углерод, поверхности стенок вышеуказанного оборудования подвергаются углеродистым отложениям или нагару. Данное явление называется нагарообразованием.

Нагарообразование приводит к появлению углеродистого слоя на внутренних стенках оборудования. Отложения в виде нагара обуславливают потери давления, пониженную эффективность теплообмена между внутренней и наружной стенками, ухудшение химических и физических свойств указанных стенок, перегрузку стенок, по меньшей мере, частичные затруднения проходимости системы трубопроводов и т.д. Таким образом, срок эксплуатации оборудования является ограниченным. Вот почему желательно ограничивать нагарообразование. Однако в стандартах для сталей не предусмотрена информация о поведении сталей в отношении нагарообразования.

Для защиты оборудования необходимо регулярно проводить операции по удалению нагара. Такие операции технического обслуживания и чистки являются дорогостоящими и обычно требуют отключения оборудования. Это снижает эффективность оборудования.

Известно, что представляется возможным нанесение на поверхности стальных стенок защитного покрытия, которое замедляет нагарообразование. Такие покрытия можно получать путем нанесения специальной композиции или путем образования оксида на поверхности, например, путем пассивации. В документе WO 2009/152134 описаны трубопроводы, полученные данным способом. Изготовление таких компонентов является сложным и дорогостоящим. Более того, такие покрытия не исключают операции по удалению нагара. Традиционная операция по удалению нагара заключается в перемещении скребка-калибра подходящего размера для обследования труб внутри (PIG) по трубопроводам с отскабливанием и удалением углеродистых отложений, подобно чистке дымоходов. В ходе данной операции повреждается или даже полностью разрушается какая бы то ни было защитная внутренняя поверхность трубопроводов. Следовательно, операцию по нанесению защитного покрытия необходимо повторять после каждой операции по удалению нагара. Это является трудоемким и затратным, особенно если стальной трубчатый компонент соединен с остальным оборудованием.

В патенте FR 2776671, заявка на который была подана Французским нефтяным институтом, описаны стали, предназначенные для применения в изготовлении печей и реакторов. Однако механическая прочность и ударная вязкость таких сталей являются низкими.

С помощью настоящего изобретения пытаются улучшить ситуацию.

Заявитель стремится улучшить устойчивость к нагарообразованию и сохранить другие механические свойства с помощью изменения композиций стали, химические элементы которых характеризуются выбранными значениями содержания. Данные значения содержания неизвестны, но в целом соответствуют действующим стандартам, что обеспечивает, таким образом, быстрое задействование с избеганием долгосрочных квалификационных тестов. Другими словами, заявитель обладает усовершенствованными химическими композициями стали, которые являются новаторскими и не противоречат жестким принципам стандартов, признанных специалистами в рассмотренной области техники.

Исходя из этого, заявителем представлена композиция стали для изготовления компонентов с улучшенными свойствами против нагарообразования, содержащая

от 0,08 до 0,15 вес.% углерода (C),

от 0,3 до 1 вес.% марганца (Mn),

от 1,4 до 3 вес.% кремния (Si),

от 0,5 до 3 вес.% меди (Cu),

от 8 до 10 вес.% хрома (Cr),

от 0,5 до 3 вес.% никеля (Ni),

от 0,01 до 0,07 вес.% азота (N),
от 0,8 до 1,1 вес.% молибдена (Mo),
0,04 вес.% алюминия (Al),
при этом оставшаяся часть композиции, по существу, содержит железо (Fe) и примеси,
при этом примеси содержат фосфор, серу, титан, ниобий, ванадий, вольфрам и кобальт, причем содержание указанных элементов не превышает

0,025 вес.% фосфора (P),
0,02 вес.% серы (S),
0,02 вес.% титана (Ti),
0,05 вес.% ниобия (Nb),
0,05 вес.% ванадия (V),
0,1 вес.% вольфрама (W) и
0,05 вес.% кобальта (Co),

причем содержание каждого из указанных элементов не превышает 0,01 вес.%.

В одном варианте осуществления настоящего изобретения содержание других химических элементов не превышает:

0,025 вес.% фосфора (P),
0,02 вес.% серы (S),
0,02 вес.% титана (Ti),
0,05 вес.% ниобия (Nb),
0,05 вес.% ванадия (V),
0,1 вес.% вольфрама (W) и
0,05 вес.% кобальта (Co).

В одном варианте осуществления настоящего изобретения содержание каждого из других химических элементов не превышает 0,01 вес.%.

В одном варианте осуществления настоящего изобретения содержание углерода составляет от 0,08 до 0,15 вес.%.

В другом варианте осуществления настоящего изобретения содержание углерода составляет от 0,09 до 0,11 вес.%.

В одном варианте осуществления настоящего изобретения содержание кремния составляет от 1,5 до 2,5 вес.%.

В одном варианте осуществления настоящего изобретения содержание меди составляет от 0,5 до 2 вес.%.

В одном варианте осуществления настоящего изобретения содержание никеля составляет от 0,5 до 2,7 вес.%.

В одном варианте осуществления настоящего изобретения содержание марганца составляет от 0,4 до 0,8 вес.%.

В одном варианте осуществления настоящего изобретения содержание азота составляет от 0,02 до 0,05 вес.%.

В одном варианте осуществления настоящего изобретения содержание алюминия составляет от 0,005 до 0,03 вес.%.

В одном конкретном варианте осуществления настоящего изобретения содержание примесей не превышает:

0,025 вес.% фосфора (P),
0,02 вес.% серы (S),
0,02 вес.% титана (Ti),
0,05 вес.% ниобия (Nb),
0,05 вес.% ванадия (V),
0,1 вес.% вольфрама (W) и
0,05 вес.% кобальта (Co).

Среди примесей предпочтительно выбирают фосфор (P) и серу (S). Более предпочтительно среди примесей содержание фосфора (P) не превышает 0,025 вес.%, и содержание серы не превышает 0,02 вес.%.

Согласно конкретному варианту осуществления настоящего изобретения композиция стали для изготовления компонентов с улучшенными свойствами против нагарообразования состоит из не более 0,15 вес.% углерода (C), предпочтительно от 0,08 до 0,15 вес.% углерода (C), от 0,3 до 1 вес.% марганца (Mn), предпочтительно от 0,4 до 0,8 вес.% марганца (Mn), от 1,4 до 3 вес.% кремния (Si), предпочтительно от 1,5 до 2,5 вес.% кремния (Si), от 0,5 до 3 вес.% меди (Cu), предпочтительно от 0,5 до 2 вес.% меди (Cu), от 8 до 10 вес.% хрома (Cr), от 0,5 до 3 вес.% никеля (Ni), предпочтительно от 0,5 до 2,7 вес.% никеля (Ni), от 0,01 до 0,07 вес.% азота (N), предпочтительно от 0,02 до 0,05 вес.% азота (N),

от 0,8 до 1,1 вес.% молибдена (Mo),
 от 0 до 0,04 вес.% алюминия (Al), предпочтительно от 0,005 до 0,03 вес.% алюминия (Al),
 при этом оставшаяся часть композиции содержит железо (Fe) и примеси, такие как фосфор (P) от 0 до 0,025 вес.%, сера (S) от 0 до 0,02 вес.%, титан (Ti) от 0 до 0,02 вес.%, ниобий (Nb) от 0 до 0,05 вес.%, ванадий (V) от 0 до 0,05 вес.%, вольфрам (W) от 0 до 0,1 вес.% и/или кобальт (Co) от 0 до 0,05 вес.%.

В одном варианте осуществления настоящего изобретения процентные содержания по весу кремния (Si), меди (Cu) и никеля (Ni) соответствуют следующим неравенствам:

$$\text{Si} < 1,5 \cdot (0,3 \text{ Cu} + \text{Ni}) \quad \text{для } \text{Si} < 2,5\%$$

$$2 \cdot \text{Si} < 1,5 \cdot (0,3 \text{ Cu} + \text{Ni}) \quad \text{для } \text{Si} \geq 2,5\%$$

и

$$\text{Cu} < \text{Ni}.$$

Другой объект настоящего изобретения представляет собой трубчатый компонент, по меньшей мере одна часть которого содержит композицию стали согласно одному из вариантов осуществления композиции стали согласно настоящему изобретению.

В одном варианте осуществления еще один объект настоящего изобретения представляет собой трубчатый компонент, часть которого, содержащая композицию стали согласно одному из вариантов осуществления композиций стали согласно настоящему изобретению, выполнена с возможностью контакта с атмосферой, содержащей нагар.

Другие характеристики, подробности и преимущества настоящего изобретения станут очевидными из нижеизложенного подробного описания и прилагаемых графических материалов, среди которых

фиг. 1 представляет собой изображение трубчатого компонента согласно настоящему изобретению,

фиг. 2 представляет собой схематическое изображение поперечного сечения трубчатого компонента, подверженного явлению однородного нагарообразования,

фиг. 3 представляет собой схематическое изображение поперечного сечения трубчатого компонента, подверженного явлению неоднородного нагарообразования,

фиг. 4 представляет собой диаграмму Шеффлера, и

фиг. 5 представляет собой схематическое изображение стенда для проведения испытания на устойчивость к нагарообразованию.

Графические материалы и нижеизложенное описание, по сути, содержат элементы определенного происхождения. Они составляют неотъемлемую часть описания и, таким образом, могут применяться не только для лучшего понимания настоящего изобретения, но также, возможно, способствуют его определению.

Более конкретно настоящее изобретение касается изготовления трубчатых компонентов печей нефтеперерабатывающих заводов. Однако композицию стали можно использовать для изготовления других элементов, которые скорее всего будут подвергаться явлению нагарообразования.

Фиг. 1 представляет собой трубчатый компонент согласно настоящему изобретению, фиг. 2 представляет собой поперечное сечение компонента фиг. 1 после подвергания главным образом однородному нагарообразованию, что соответствует, например, трубчатому компоненту, простирающемуся в целом вертикально. Фиг. 3 представляет собой поперечное сечение компонента фиг. 1 после главным образом неоднородного нагарообразования, что соответствует, например, трубчатому компоненту, простирающемуся в целом горизонтально.

Каждый трубчатый компонент обозначен 1. Каждая внутренняя поверхность обозначена 1a, и каждая наружная поверхность обозначена 1b. Углеродистые отложения обозначены 2. Применительно к каждому из трубчатых компонентов 1 фиг. 2 и 3 углеродистое отложение 2 возникает на поверхности стали, подвергаемой контакту с дымами, содержащими углерод. В описанных в данном документе примерах внутренняя поверхность 1a трубчатого компонента 1 подвергается прохождению углеродсодержащих дымов. Углеродистое отложение 2 возникает на внутренней поверхности 1a трубчатого компонента 1, затем увеличивается, уменьшая свободное пространство внутри трубчатого компонента 1.

Заявитель провел сравнительные испытания на разных образцах стали для определения их характеристик в отношении устойчивости к нагарообразованию и их механических свойств. Используемые протоколы испытаний описаны ниже по тексту.

Химические композиции исследуемых сталей приведены в нижепредставленной табл. 1. Значения выражены в процентах по весу.

Таблица 1

Партия	C	Mn	Si	Cu	Cr	Ni	N	Mo	Алмакс.	P	S	Ti	Nb
1*	0,11	0,40	0,28	0,10	8,43	0,09	0,02	0,97	0,005	0,005	0,004	0,002	0,009
2*	0,11	0,39	1,02	0,10	8,27	0,09	0,02	0,95	0,004	0,005	0,004	0,002	0,008
3*	0,11	0,39	2,02	0,01	8,16	0,09	0,03	0,93	0,005	0,005	0,003	0,002	0,008
4*	0,11	0,97	1,96	0,11	8,26	0,10	0,02	0,90	0,006	0,005	0,004	0,002	0,008
5	0,11	0,39	1,98	1,02	8,51	0,97	0,02	0,93	0,004	0,005	0,004	<0,012	0,007
6*	0,11	0,42	2,50	0,11	8,27	0,09	0,02	0,86	0,006	0,005	0,003	0,003	0,009
7	0,1	0,5	1,48	0,99	8,76	0,95	0,03	1,01	0,002	0,015	0,007	<0,012	<0,014
8	0,1	0,5	2,49	2,06	8,89	2,56	0,03	1,01	0,002	0,015	0,007	<0,012	<0,014
9	0,09	0,42	2,01	0,50	8,90	1,45	0,03	1,02	0,01	0,015	0,007	<0,012	<0,014
10	0,1	0,5	1,98	1,50	9,08	0,55	0,04	1,02	0,01	0,015	0,007	<0,012	<0,014
11*	0,1	0,51	3,54	2,55	8,86	5,02	0,03	0,99	0,01	0,015	0,007	<0,012	<0,014

* Сравнительные примеры

Образец 1* представляет собой композицию стали, выбранную заявителем за основу для сравнения, традиционную композицию стали типа P9, как определено в стандарте ASTM A335.

Образцы 2* и 3* представляют собой композиции, аналогичные композиции образца 1*, за исключением содержания в них кремния (Si), которое составляет соответственно приблизительно 1 и 2 вес.%.

Образец 4* представляет собой композицию, аналогичную композиции образца 1*, за исключением значений содержания в ней кремния (Si) и марганца (Mn), которые составляют соответственно приблизительно 2 и 1 вес.%.

Эталонный образец 5 представляет собой композицию согласно настоящему изобретению, исследованную заявителем перед серией испытаний, обозначенных 7-11, характеризующуюся содержанием кремния приблизительно 2 вес.% и содержанием меди приблизительно 1 вес.%.

Эталонный образец 6* представляет собой композицию, аналогичную композиции образца 1*, за исключением содержания в ней кремния (Si), которое составляет приблизительно 2,5%. Содержание меди в образце 6* уменьшено по сравнению с образцом 5.

Эталонные образцы 7-11 соответствуют композициям стали, полученным после этого.

Измерения значений содержания по весу химических элементов проверяли следующим образом:

в случае азота (N) - посредством измерения теплопроводности после плавления;

в случае углерода (C) и серы (S) - посредством анализа с помощью инфракрасной спектроскопии газов, образующихся после горения;

в случае других химических элементов - посредством искровой спектроскопии (так называемой "Spark-OES").

Каждая из применяемых методик измерения аккредитована Французским аккредитационным агентством под названием COFRAC (Comité Francais d'Accréditation [Французский комитет по аккредитации]), за исключением методик измерения кремния (Si), меди (Cu) и азота (N).

Химические элементы слева в табл. 1 (C, Mn, Si, Cu, Cr, Ni, N, Mo, Al) являются легирующими (или дополнительными) элементами, специально добавляемыми к железу (Fe).

Химические элементы справа в табл. 1 (P, S, Ti, Nb) в данном документе рассматриваются как примеси.

Содержание по весу примесей специально поддерживали настолько низким, насколько это возможно, потому что они либо оказывают негативное влияние на требуемые свойства, либо потому что они оказывают, по сути, нейтральное влияние на требуемые свойства, либо потому что они обуславливают стоимость сырья, которая является слишком высокой для применения в промышленном масштабе, либо потому что заявитель хотел исследовать влияние дополнительных химических элементов, в частности, без содержания примесей, препятствующих получению результатов, либо ввиду сочетания данных причин.

В целом предпочтительно, чтобы значения содержания фосфора (P) и серы (S) были как можно ниже. Благодаря этому улучшаются механические свойства. Фосфор является остаточным элементом. Его присутствие необязательно, поскольку оно способствует отпускному охрупчиванию и отрицательно сказывается на ударной вязкости получаемой стали. Фосфор повышает прокаливаемость. Сера преимущественно способствует образованию сульфидов, которые снижают способность деформироваться при ковке, уменьшают пластичность и ударную вязкость, в частности, в поперечном направлении, получаемой стали. Например, композиции стали содержат не более:

0,025 вес.% фосфора (P) и предпочтительно не более 0,022 вес.% фосфора,

0,02 вес.% серы (S) и предпочтительно не более 0,015 вес.% серы.

Например, композиции стали содержат не более:

0,02 вес.% титана (Ti),

0,05 вес.% ниобия (Nb).

Образцы получали в вакуумной индукционной печи. Полученные слитки затем разрезали на блоки, обертывали листом алюминия для уменьшения окисления во время следующей стадии формования, включающей нагревание до 1100°C для предотвращения возникновения фаялита, затем прокатку за

шесть проходов с уменьшением толщины от 80 мм до толщины 25 мм, при этом начальная температура составляла 1100°C, а температура во время последнего прохода прокатки составляла 900°C. Размеры полученных образцов составляли 400×125×25 мм.

Проводили предварительные исследования с целью обнаружения любых дефектов, таких как трещины, дыры, а также наличия включений (расчет по стандарту ASTM E45, способ D). У полученных образцов не наблюдалось дефектов, в частности, включений В и С типа, которые являются неблагоприятными для ударной вязкости.

Затем образцы подвергали дилатометрическим измерениям для определения значений температуры термической обработки Ас1 и Ас3, применяя прибор Bähr DIL 805 D, и следующему циклу изменения температуры: нагреванию при 0,5°C/с, выдерживанию при 1100°C в течение 5 мин и охлаждению со скоростью 1°C/с до температуры окружающей среды.

Затем образцы подвергали термообработке для нормализации, с последующей термообработкой для отпуска. Применяемые значения температуры нормализации были на 30-50°C выше значений температуры Ас3, полученных путем дилатометрических измерений, для устранения микроструктуры после прокатки. Значения температуры не повышали больше чем на 50°C для предотвращения увеличения аустенитных зерен. Применяемые значения температуры отпуска были на 60°C ниже значений температуры Ас1, полученных с помощью дилатометрических кривых, для предотвращения возникновения аустенита.

В случае некоторых образцов исследовали дополнительные или альтернативные виды термообработки, либо за счет повышения температуры нормализации, и/или добавления стадии нормализации, и/или охлаждения в воде вместо охлаждения на воздухе.

Данные виды термообработки сведены в табл. 2 ниже применительно к композициям стали согласно настоящему изобретению.

Таблица 2

Сталь	Термообработка					
	Нормализация			Отпуск		
	Температура	Продолжительность	Охлаждение	Температура	Продолжительность	Охлаждение
3*	980°C	15 мин.	Воздух	820°C	120 мин.	Воздух
5	905°C	15 мин.	Воздух	760°C	120 мин.	Воздух
6*	1020°C	15 мин.	Воздух	820°C	120 мин.	Воздух
7	970°C	15 мин.	Воздух	710°C	120 мин.	Воздух
				740°C	120 мин.	Воздух
				760°C	120 мин.	Воздух
8	970°C	15 мин.	Воздух	640°C	120 мин.	Воздух
				670°C	120 мин.	Воздух
	1020°C	15 мин.	Воздух	T1: 780°C T2: 670°C	120 мин.	Воздух
				670°C	120 мин.	Вода
				670°C	120 мин.	Вода
1020°C	15 мин.		Изотермический отжиг 700°C/60 мин.			
9	1020°C	15 мин.	Воздух	710°C	120 мин.	Воздух
				740°C	120 мин.	Воздух
				760°C	120 мин.	Воздух
				760°C	120 мин.	Вода
	1060°C			760°C	180 мин.	Вода
10	990°C	15 мин.	Воздух	760°C	120 мин.	Воздух
				780°C	120 мин.	Воздух
	1020°C	15 мин.	Воздух	800°C	120 мин.	Воздух
				800°C	120 мин.	Вода
				800°C	120 мин.	Вода
1060°C			800°C	120 мин.	Вода	
11	920°C	15 мин.	Воздух	570°C	120 мин.	Воздух
				600°C	120 мин.	Воздух
				T1: 750°C T2: 600°C	120 мин.	Воздух

Образцы 8 и 11 подвергали отпуску в две стадии с целью испытания воздействия такой термообработки на ухудшение механических свойств данных сталей.

Изготовление каждого из образцов подразумевает обеспечение отливки из стали и, следовательно, применение очень крупного оборудования. Испытания, в частности испытания, продолжительность которых составляет длительные периоды времени, и/или испытания, осуществляемые на измерительных машинах высокой точности, являются особенно затратными. Должно быть понятно, что получение итоговых результатов для большого количества композиций является неоправданно длительным, сложным и затратным.

Испытания на нагарообразование.

Занимались реализацией протокола эксперимента с получением результатов из табл. 3 ниже. Измерения проводили с помощью термогравиметра 20, схематически представленного на фиг. 5.

В описанных в данном документе примерах образцы 100 представляют собой слитки в форме па-

раллелепипеда размером приблизительно $10 \times 5 \times 2$ мм. В каждом образце 100 делали отверстие диаметром 1,8 мм, чтобы упростить его закрепление в термогравиметре 20.

Перед тем как поместить образцы 100 в термогравиметр 20, каждый из них зачищали. Для этого использовали наждачную бумагу на основе карбида кремния со средней крупностью зерна приблизительно 10,3 мкм, упоминаемую как "SIC 2000". Зачистка позволяет удалить окисленный слой и/или любые загрязнения. Затем образец обезжиривали путем очистки с помощью ацетона в ультразвуковой бане.

Термогравиметрия позволяет непрерывно измерять массу образца 100. Применяемый в настоящем изобретении термогравиметр 20 представляет собой "SETARAM TG92". Он характеризуется разбросом результатов в один микрограмм в диапазоне от 0 до 20 г с погрешностью приблизительно 2%.

Каждый образец 100 помещали в нагретый кварцевый реактор или печь 21 и подвешивали на расстоянии от модуля 27 для взвешивания термогравиметра 20. Температуру печи регулировали на уровне $\pm 10^\circ\text{C}$. В месте расположения образца 100 температура была по сути постоянной. Как показано в табл. 2, испытания осуществляли соответственно при 650 и 700°C .

Образец 100 подвешивали на расстоянии с помощью проволоки из сплава железо-хром-алюминий (FeCrAl), известной под торговым названием "Kanthal".

Образец 100 погружали в газообразную среду, содержащую смесь соединения, называемого "Naphtha", которое обозначено 23, и диводорода (H_2).

Используемая в настоящем документе нефтя 23 имеет торговое название "Naphtha IPEN 7939". Композиция нефти 23 является следующей:

- 48,5 вес.% парафинов,
- 36 вес.% нафтена,
- 11,1 вес.% ароматических соединений,
- 4,3 вес.% толуола и
- 0,1 вес.% бензола.

Плотность использованной в настоящем документе нефти 23 составляла приблизительно $0,75 \text{ г/см}^3$. Молярная масса составляла приблизительно 112,1 г на моль. Характеристический фактор (обычно указанный как K_{UOP}), введенный компанией "Юниверсал ойл продактс компани" (Universal Oil Products Company), составлял 11,9.

Нафту 23 вводили в жидком виде, затем выпаривали в испарителе 25 термогравиметра 20. Температура испарителя 25 и распределительных трубопроводов составляла приблизительно 200°C . Условия эксперимента выбирали таким образом, чтобы молярное соотношение диводорода и нефти 23 составляло приблизительно 4.

Скорость потока жидкой нефти 23 составляла приблизительно 2 мл/ч. Скорость потока диводорода составляла приблизительно 1,2 л/ч (или 20 мл/мин). Нафту 23 подвергали разложению путем приведения в реакцию с водородом с образованием подаваемого материала. В эксперименте указанный подаваемый материал заменял углеродистые дымы или текучие среды, возникающие в реальных условиях. В условиях эксперимента подаваемый материал в газообразном виде вводили в печь 21 со скоростью потока, составляющей приблизительно 72 л/ч.

Для защиты модуля 27 для взвешивания в печи 21 непрерывно генерируется поток аргона (Ar). Поток аргона (Ar) характеризовался минимальной скоростью приблизительно 50 мл/мин, добавляемой к скорости потока при загрузке. Аргон (Ar) вводили из модуля 27 для взвешивания таким образом, чтобы образовалась газообразная подушка, заполняющая пространство для предотвращения возникновения контакта между подаваемым материалом в газообразном виде и модулем 27 для взвешивания.

Изменения массы, обусловленные изменениями отложения нагара, затем измеряли в течение выbranного периода времени. В данном случае продолжительность испытаний составляла 5 или 18 ч. Измерение массы выполняли непрерывно в течение данных 18 ч.

В табл. 3 ниже представлены результаты устойчивости к нагарообразованию у образцов, химическая композиция которых представлена в табл. 1. "Н. П." означает "не применимо", поскольку нет в наличии или "не доступно". Результаты выражены как масса, приведенная к единице поверхности образца 100 (уровень нагарообразования в граммах на квадратный метр), относительно уровня нагарообразования в конкретный момент; и выражены как масса, приведенная к единице поверхности образца 100 и за час (уровень нагарообразования в граммах на квадратный метр за час), относительно скорости нагарообразования.

Таблица 3

Сталь	При 650°C					При 700°C				
	Начальная скорость через 5 ч (г/м ² ч)	Скорость через 5 ч (г/м ² ч)	Уровень нагарообразования через 5 ч (г/м ²)	Скорость через 18 ч (г/м ² ч)	Уровень через 18 ч (г/м ²)	Начальная скорость через 5 ч (г/м ² ч)	Скорость через 5 ч (г/м ² ч)	Уровень нагарообразования через 5 ч (г/м ²)	Скорость через 18 ч (г/м ² ч)	Уровень через 18 ч (г/м ²)
1*	/	/	/	/	/	38	9,5	88	/	/
2*	/	/	/	/	/	27	2,7	35	/	/
3*	3,7	0,3	3,1	/	/	4,6	0,2	5	/	/
4*	3,7	0,2	4	/	/	6,6	0,2	4,6	/	/
5	1,1	0,1	1,2	/	/	3,6	0,2	2,8	/	/
7	0,5	0,03	< 1,5	0,03	2,2	11,5	0,4	6	0,2	9,9
8	0,26	0,17	1*	0,14	2,9	1	0,2	2	0,2	5,5
9	0,6	0,05	1*	0,02	1,1	1,2	0,4	2,8	0,24	6,8
10	/	/	/	/	/	1,6	0,3	2,1	0,2	5,3
11*	0,07	0,12	1*	0,08	1,9	0,3	0,2	1,6	0,19	4,1

За основу для сравнения принята стандартная сталь Р9 с начальной скоростью нагарообразования 38 г/м²ч и уровнем нагарообразования 88 г/м² по истечении 5 ч при 700°C. Сталь Р9, улучшенная с помощью 2% кремния или стали 3* из предшествующего уровня техники, обеспечивает значительное улучшение с начальной скоростью нагарообразования 4,6 г/м²ч и уровнем нагарообразования 5 г/м² по истечении 5 ч при 700°C, демонстрируя явление очень медленного нагарообразования по истечении 5 ч. При 650°C сталь 3* характеризовалась начальной скоростью нагарообразования 3,7 г/м²ч и уровнем нагарообразования 3,1 г/м² по истечении 5 ч.

Чем выше температура, тем больше отложение нагара.

Результаты испытаний образца 2* и образца 3* показали, что дополнительное добавление кремния, соответственно 1 и 2 вес.% кремния, позволяло значительно уменьшить явление нагарообразования, при этом начальная скорость приблизительно в полтора и приблизительно в восемь раз соответственно ниже, нежели у эталонного образца 1*. Кроме того, через 5 ч испытания скорость нагарообразования уменьшилась до очень низкой скорости, порядка 0,2 г/м²ч. Кремний позволяет уменьшить явление нагарообразования - чем больше кремния, тем медленнее нагарообразование.

Образец 4* содержал 2 вес.% кремния подобно образцу 3* и также содержал 1 вес.% марганца. При 650°C начальная скорость была такой же, как и в случае образца 3*, 3,7 г/м²ч. При 700°C начальная скорость нагарообразования была немного выше, чем у образца 3*, а именно 6,6 г/м²ч по сравнению с 4,6 г/м²ч; однако уровень нагарообразования через пять часов был приблизительно таким же, примерно 5 г/м². Начальная скорость нагарообразования, судя по всему, была выше или удерживалась чуть дольше, чем в случае образца 3*. Согласно данным испытаниям марганец, судя по всему, не позволяет уменьшить явление нагарообразования.

Образец 5 содержал 2 вес.% кремния, подобно образцу 3*, и дополнительно содержал 1 вес.% меди и 1 вес.% никеля. При 650°C начальная скорость нагарообразования составляла более чем в три раза ниже, чем у образца 3*, лишь 1,1 г/м²ч. Уровень нагарообразования через пять часов был также уменьшен почти в 3 раза. Таким образом, добавление меди и никеля позволяет значительно уменьшить явление нагарообразования, начиная с его возникновения. При 700°C начальная скорость нагарообразования составляла на 25% ниже, чем у образца 3*, и в 10 раз ниже, чем у эталонного образца 1*.

Образец 7, который соответствовал образцу 5, лишь только с 1,5 вес.% кремния, показал очень хорошие результаты при 650°C, при этом начальная скорость нагарообразования снова оказалась уменьшенной вдвое по сравнению с образцом 5, но начальная скорость нагарообразования при 700°C была выше, чем у образца 5, а именно 11,5 г/м²ч по сравнению с 3,6 г/м²ч. Однако данная скорость нагарообразования все равно удовлетворительная, поскольку она намного ниже, чем у эталонных образцов 1* и 2*; и данная начальная скорость судя по всему достаточно быстро снижалась, поскольку по истечении 5 ч уровень нагарообразования был довольно низким, очень близким к уровню нагарообразования у образца 5. В данном испытании выявили, что, судя по всему, содержание кремния в сочетании с никелем и медью должно достигать нижнего предела, чтобы добиться эффекта уменьшения явления нагарообразования при более высокой температуре. При более низком содержании кремния можно обеспечивать устойчивость к явлению нагарообразования, эквивалентную устойчивости стали с более высоким содержанием кремния. Данный образец демонстрирует ингибирующее действие меди на нагарообразование. Если кремний приводит к понижению начальной скорости нагарообразования, то действие меди заключается в быстром замедлении скорости нагарообразования у образца.

Образцы 8 и 11* характеризовались высокими значениями содержания кремния, меди и никеля и продемонстрировали значительные уменьшения явления нагарообразования, причем иногда даже с очень пониженными начальными скоростями, как в случае образца 11*. Улучшение являлось весьма значительным по сравнению с образцами 1*-4*, при этом улучшение также являлось существенным по сравнению с образцом 7. Однако улучшение являлось умеренно выраженным по сравнению с образцами 10 и 9, в частности, при температуре 700°C.

Образец 10, который содержал 2 вес.% кремния и 0,5 вес.% меди, а также 1,5 вес.% никеля, показал при сравнении с образцом 3*, что в нем имел место синергический эффект, выраженный уменьшением

нагарообразования благодаря присутствию 0,5% меди в стали.

Что касается более общих результатов, то при 650°C все исследуемые образцы согласно настоящему изобретению показали, что они обладают превосходными характеристиками в отношении нагарообразования. По истечении пяти часов уровень нагарообразования составлял менее 1,2 г/м², меньше, чем для сравнительной композиции 3*, для которой он составлял 3,1 г/м².

При 700°C все стали по настоящему изобретению без исключения демонстрировали уровни нагарообразования намного меньше, чем 1* и 2*, от начала испытания, при этом скорость нагарообразования понижалась очень быстро.

Также следует отметить, что важным критерием качества является начальная скорость нагарообразования. Безусловно, если достигается иницирование нагарообразующего отложения и слой нагара покрывает образец, то защитное действие, обеспечиваемое элементами стали, естественно уменьшается. Согласно результатам испытаний, судя по всему, скорость нагарообразования порядка 0,2 г/м² соответствует минимальной скорости нагарообразования, достигаемой с образованием слоя нагара на стенке образца по истечении 18 ч.

Испытания механических свойств.

Обработанные образцы подвергали механическим испытаниям. Проводили испытания на ударную вязкость по Шарпи. Используемый протокол эксперимента был основан на стандартах ASTM A370-15 для подготовки образцов и ASTM E23-12с для испытаний по Шарпи.

Ударную вязкость исследовали в поперечном направлении согласно стандарту ASTM E23-12с путем испытания на удар, проводимого в отношении образца с V-образным надрезом по методу Шарпи. Поперечное направление выбирали по той причине, что оно является наиболее критичным для катаной стальной трубы. Испытания проводили при значениях температуры 20, 0, -30°C. Также есть заинтересованность в том, чтобы сталь обладала удовлетворительной вязкостью при низких значениях температуры. Иллюстративное значение ударной вязкости представляет собой минимальную поглощенную энергию при заданной температуре и приведено в джоулях.

Результаты сравнивали с требованиями стандарта NF EN 10216-2 и со сравнительными примерами 3* и 6*, известными из предшествующего уровня техники.

В табл. 4 ниже по тексту представлены результаты ударной вязкости образцов, химическая композиция которых представлена в табл. 1. В таблице представлено лишь среднее значение измеренной энергии для трех испытаний, как того требует стандарт. Стали подвергали испытаниям с применением разных видов термообработки и трех значений температуры при проведении испытаний: 20, 0 и -30°C.

Таблица 4

Сталь	Термообработка						Средняя энергия/Т°C (Дж)		
	Нормализация			Отпуск			-30°C	0°C	20°C
	Т°C	Продолжительность	Охлаждение	Т°C	Продолжительность	Охлаждение			
3*	980°C	15 мин.	Воздух	820°C	120 мин.	Воздух	14	24	40
6*	1020°C	15 мин.	Воздух	820°C	120 мин.	Воздух			14
5	905°C	15 мин.	Воздух	760°C	120 мин.	Воздух	30	39	51
7	970°C	15 мин.	Воздух	710°C	120 мин.	Воздух	41	67	96
				740°C	120 мин.	Воздух	42	64	93
				760°C	120 мин.	Воздух	40	67	98
8	970°C	15 мин.	Воздух	640°C	120 мин.	Воздух	9	4	9
				670°C	120 мин.	Воздух	17	14	17
				T1: 780°C T2: 670°C	120 мин.	Воздух			25
	1020°C	15 мин.		670°C	120 мин.	Вода			14
	1060°C	15 мин.		670°C	120 мин.	Вода			14
	1020°C	15 мин.		Изотермический отжиг, 700°C	60 мин.				21
9	1020°C	15 мин.	Воздух	710°C	120 мин.	Воздух	21	36	53
				740°C	120 мин.	Воздух	27	43	56
				760°C	120 мин.	Воздух	19	51	54
				760°C	120 мин.	Вода			75
				760°C	180 мин.	Вода			61
				760°C	120 мин.	Вода			82
10	990°C	15 мин.	Воздух	760°C	120 мин.	Воздух	22	39	56
				780°C	120 мин.	Воздух	20	34	48
				800°C	120 мин.	Воздух	20	26	50
				800°C	120 мин.	Вода			46
				800°C	120 мин.	Вода			66
8	970°C	15 мин.	Воздух	640°C	120 мин.	Воздух	9	4	9
				670°C	120 мин.	Воздух	17	14	17
				T1: 780°C T2: 670°C	120 мин.	Воздух			25
	1020°C	15 мин.		670°C	120 мин.	Вода			14
	1060°C	15 мин.		670°C	120 мин.	Вода			14
	1020°C	15 мин.		Изотермический отжиг, 700°C	60 мин.				21
11*	920°C	15 мин.	Воздух	570°C	120 мин.	Воздух	6	6	6
				600°C	120 мин.	Воздух	7	6	7
				T1: 750°C T2: 600°C	120 мин.	Воздух			14

Минимальная средняя энергия удара, определенная согласно стандарту NF EN 10216-2 для данного типа стали, составляла минимум 40 Дж в продольном направлении при 20°C; минимум 27 Дж в поперечном направлении при 20°C.

Результатами в отношении ударной вязкости образца 3* были 40 Дж в поперечном направлении при 20°C.

Образец 6* с 2,5 вес.% кремния характеризовался намного худшей ударной вязкостью в 14 Дж, что значительно ниже пороговой величины, требуемой согласно стандарту.

Образец 7 демонстрировал ударную вязкость намного выше, чем сравнительные примеры. Результат при -30°C является равным или даже превышает характеристики при 20°C примеров из предшествующего уровня техники. Более того, значения, полученные при 20°C, вполне вписываются в рамки требований стандарта NF EN 10216-2.

Образец 8 не достиг значений ударной вязкости, удовлетворяющих требования стандарта, но обеспечивал возможность улучшить ударную вязкость стали с увеличением ее вдвое в поперечном направлении до значения 25 Дж при 20°C вместо 14 Дж при 20°C образца 6*. Добавление в сталь никеля и меди, следовательно, позволяет уменьшить отрицательное действие кремния на ее ударную вязкость. Однако различные испытания продемонстрировали, что подходящая термообработка позволяет приблизиться к требованию стандарта, и сталь 8 может удовлетворять требованию стандарта.

Сталь 10 содержала 2 вес.% Si, 0,5 вес.% Cu и 1,5 вес.% Ni. Было отмечено весьма значительное улучшение ударной вязкости, а именно в 2 раза при 20°C, относительно сравнительных сталей 3* и 6* (соответственно P9+2% Si, P9+2,5% Si). Образец 9, который содержал 2 вес.% Si, 1,5 вес.% Cu и 0,5 вес.% Ni, продемонстрировал значения характеристик, которые по сути были такими же, как для образца 10. Из этого следует, что никель и медь позволяют компенсировать большее количество кремния и повысить ударную вязкость стали. Никель играет более важную роль в повышении ударной вязкости, нежели медь.

Образец 11* характеризовался высокими значениями содержания кремния, никеля и меди, а именно 3,5 вес.% Si, 5,5 вес.% Ni и 2,5 вес.% Cu. В зависимости от термообработки получали сталь, ударная вязкость которой в лучшем случае находилась лишь на уровне стали из предшествующего уровня техники, такой как сталь 6*. Избыточная доля кремния ухудшала ударную вязкость стали, для которой добавление никеля и меди не могло компенсировать данное ухудшение.

Подводя итог, при сравнении результатов первого испытания, соответствующих эталонным образцам 1-6, заявитель обнаружил, что добавление кремния (Si) в целом улучшает характеристики нагарообразования. Однако добавление кремния (Si) также имеет тенденцию уменьшать ударную вязкость стали. Следовательно, добавления кремния (Si) не достаточно для улучшения свойств устойчивости к нагарообразованию при одновременном сохранении механических свойств сталей.

Более того, полученные результаты показали, что уменьшение нагарообразования в зависимости от добавления кремния (Si) становится небольшим при увеличении доли кремния (Si) (см. также эталонные образцы 1*, 2* и 3*).

Заявитель проводил такие же испытания на нагарообразование и ударную вязкость на образце 5 стали, объединяющем добавление кремния (Si) с другими химическими элементами. Заявитель обнаружил, что комбинированное добавление кремния (Si), никеля (Ni) и меди (Cu), по сравнению с эталонным образцом 1, позволяет получить сталь не только с улучшенными свойствами устойчивости к нагарообразованию, но также с улучшенными механическими свойствами, и в частности, ударной вязкостью, относительно сравнительных образцов.

На основании результатов, полученных для эталонного образца 5 из табл. 1-4, заявитель попытался подтвердить свои экспериментальные данные путем проведения дополнительных испытаний на образцах, обозначенных 7-11 из табл. 1-4.

Полученные результаты показали, что совместное присутствие кремния (Si), меди (Cu) и никеля (Ni) позволяет получать стали, у которых как свойства устойчивости к нагарообразованию, так и ударной вязкости являются чрезвычайно перспективными.

В частности, сталь согласно настоящему изобретению содержит следующие элементы.

Углерод.

Углерод присутствует в количестве не более 0,15 вес.%. За пределами данных значений свариваемость стали ухудшается. Предпочтительно содержание углерода превышает или равняется 0,08 вес.% во избежание образования дельта-феррита. При значениях ниже 0,08 вес.% могут ухудшиться свойства ползучести стали. Опять-таки предпочтительно, чтобы содержание углерода равнялось или превышало 0,09 вес.% и составляло меньше или равнялось 0,11 вес.%.

Марганец.

Марганец является раскислителем и обессеривателем стали при плавлении. Марганец улучшает прокаливаемость и, следовательно, прочность конечной стали. Если содержание марганца превышает 1,5 вес.%, то повышается риск образования включений, представляющих собой сульфид марганца, которые ухудшают ударную вязкость стали. Следовательно, содержание марганца предпочтительно составляет от 0,3 до 1 вес.% и предпочтительно от 0,4 до 0,8 вес.% для оптимизации соответствия между ударной вяз-

костью стали и прокаливаемостью.

Кремний.

Кремний с хромом являются раскислителем стали. Кремний обеспечивает возможность образования защитного оксидного слоя на поверхности стали. Кремний и хром образуют оксиды SiO_2 и Cr_2O_3 . Оксидный слой образует пленку, защищающую от явления нагарообразования.

Однако кремний является альфа-стабилизирующим элементом, и, как известно, его содержание должно быть ограничено для предотвращения образования дельта-феррита. Если его содержание является слишком высоким, то это также содействует ослабеванию образования осадка в процессе работы. Известно, что его содержание в стали ограничено до максимум 1 вес.%.

В ходе испытаний заявитель установил, что можно превышать данное значение содержания, сохраняя при этом приемлемые механические свойства стали при помощи добавления никеля и меди.

В действительности скорость нагарообразования сталей сильно понижается при сохранении механических свойств стали в случае содержания кремния, равного или превышающего 1,4 вес.%. Такой эффект еще больше улучшается при содержании не более 3 вес.% кремния. При значениях, превышающих данное граничное значение, уже невозможно поддерживать показатели качества стали. Наибольший эффект наблюдали при содержании кремния, равном или превышающем 1,5 вес.% и меньшем или равном 2,5 вес.%.

Хром.

Хром выполняет важную функцию в устойчивости к коррозии и окислению при высокой температуре. Необходимо, чтобы минимальное его содержание составляло 8 вес.% для достижения необходимых эффектов при использовании в оборудовании для обработки и преобразования нефтяных продуктов. Однако риск образования дельта-феррита, обусловленный присутствием хрома, приводит к ограничению содержания хрома до 10 вес.%, чтобы это не отразилось на ударной вязкости стали.

Азот.

Азот является гамма-стабилизирующим элементом, способствующим образованию аустенита, и позволяет уменьшить образование дельта-феррита (δ -феррита), который ухудшает ударную вязкость стали. Азот также обеспечивает образование нитридов, которые являются более стабильными и образуются в меньшем количестве, нежели эквиваленты, представляющие собой карбиды. Чтобы ограничить риски появления дефектов, таких как раковины в слитках или заготовках, или дефектов, возникающих в ходе операций сварки, предпочтительно ограничивать содержание азота до значения от 0,01 до 0,07 вес.% и предпочтительно от 0,02 до 0,05 вес.%.

Молибден.

Молибден улучшает прокаливаемость стали и, в частности, эффективность размягчения во время отпуска. Молибден уменьшает угол наклона кривой отпуска и способствует контролю термообработки. Исходя из этого, требуется минимальное содержание молибдена, составляющее 0,8%. Однако избыточное содержание молибдена может вызывать образование оксида молибдена MoO_3 , который является нестабильным при высокой температуре и ингибирует надлежащую устойчивость к коррозии при высокой температуре. Молибден также является источником дельта-феррита, оказывающим влияние на ударную вязкость стали. По этим причинам предпочтительно ограничивать содержание молибдена до 1,1 вес.%.

Никель.

Никель является гамма-стабилизирующим элементом, и он замедляет возникновение феррита. Феррит ухудшает свойство ударной вязкости стали. Более того, никель содействует образованию аустенитной фазы. Испытания показали, что добавление никеля в сталь, характеризующуюся вышеуказанной концентрацией кремния, приводит к обеспечению высокой ударной вязкости. Заявитель неожиданно обнаружил, что никель также участвует в уменьшении явления нагарообразования. Данных эффектов добиваются при содержании никеля в стали от 0,5 вес.% и не более 3 вес.%, предпочтительно не более 2,7 вес.%. При значениях, превышающих данные значения, ударная вязкость полученной стали является неудовлетворительной.

Медь.

Медь является важным элементом настоящего изобретения. Заявитель неожиданно установил, что устойчивость стали к нагарообразованию можно еще больше улучшить путем добавления меди.

Медь замедляет или даже блокирует диссоциацию углерода и кислорода в стали. Медь также замедляет диффузию углерода в стали и нагарообразование.

Сочетание в стали присутствия меди в дополнение к присутствию кремния в значительной степени замедляет нагарообразование на стенках: если в оксидном слое возникают дефекты, такие как трещины, то явление нагарообразования замедляется за счет присутствия меди в месте данного дефекта. Данные два эффекта действуют синергически с получением у стали устойчивости к нагарообразованию, которая является значительно улучшенной.

Таких эффектов добиваются при концентрации меди, равной или превышающей 0,5 вес.% и не более 3 вес.% меди. При значениях, превышающих данные значения, эффект меди ограничивается. Предпочтительно максимальное содержание меди составляет 2 вес.%.

Алюминий.

Данный элемент не является необходимым для получения требуемых металлургических характеристик в пределах объема настоящего изобретения, и он рассматривается в данном документе как остаточная примесь при производстве, поэтому его добавление остается необязательным. Он является сильным раскислителем металла. Алюминий также представляет собой альфа-фазный стабилизирующий элемент и характеризуется высоким сродством к азоту, при этом значения содержания алюминия более 0,04 вес.% являются неблагоприятными. В зависимости от потребностей, если это является необходимым, алюминий можно добавлять до обеспечения конечного содержания в диапазоне не более 0,04 вес.% и предпочтительно до конечного содержания от 0,005 до 0,03 вес.%.

На фиг. 4 показана диаграмма Шеффлера. На данной диаграмме ось абсцисс представляет содержание альфа-фазных стабилизирующих элементов стали, так называемый "эквивалент хрома". Формула, согласно которой определяют эквивалентное содержание хрома, представлена ниже. Ось ординат представляет содержание гамма-фазных стабилизирующих элементов стали, так называемый "эквивалент никеля". Формула, согласно которой определяют эквивалентное содержание никеля, представлена ниже

$$Cr_{\text{экв.}} = Cr + 2*Si + 1,5*Mo + 5*V + 5,5*Al + 1,75*Nb + 1,5*Ti + 0,75*W$$

$$Ni_{\text{экв.}} = Ni + Co + 30*C + 0,5*Mn + 0,3*Cu + 25*N$$

Нанося данные по каждой композиции стали на такую диаграмму, теоретически возможно предположить кристаллическую структуру указанной стали.

Предпочтительно оставаться вне ферритового домена сталей. Механические характеристики и срок эксплуатации стальных деталей ухудшаются с повышением доли феррита в мартенситной структуре. Ферритной структуры избегают, когда химическая композиция является такой, что соблюдается по меньшей мере одно и предпочтительно оба из нижеприведенных неравенств, где содержания выражены в процентах по весу:

$$Si < 1,5*(0,3 Cu + Ni) \quad \text{для } Si < 2,5\%;$$

$$2*Si < 1,5*(0,3 Cu + Ni) \quad \text{для } Si \geq 2,5\%$$

и

$$Cu < Ni.$$

Другими словами, чтобы улучшить характеристики стали в ходе прокатки предпочтительно, чтобы содержание по весу меди (Cu) было меньше содержания по весу никеля (Ni).

Настоящее изобретение не ограничивается примерами композиций стали и трубчатых компонентов, описанных выше лишь в качестве примеров, но охватывает все варианты, которые могут быть предусмотрены специалистом в данной области в пределах объема прилагаемой формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Композиция стали для изготовления компонентов с улучшенными свойствами против нагарообразования, содержащая

от 0,08 до 0,15 вес.% углерода (C),

от 0,3 до 1 вес.% марганца (Mn),

от 1,4 до 3 вес.% кремния (Si),

от 0,5 до 3 вес.% меди (Cu),

от 8 до 10 вес.% хрома (Cr),

от 0,5 до 3 вес.% никеля (Ni),

от 0,01 до 0,07 вес.% азота (N),

от 0,8 до 1,1 вес.% молибдена (Mo),

0,04 вес.% алюминия (Al),

при этом оставшаяся часть композиции содержит железо (Fe) и примеси,

при этом примеси содержат фосфор, серу, титан, ниобий, ванадий, вольфрам и кобальт, причем содержание указанных элементов не превышает

0,025 вес.% фосфора (P),

0,02 вес.% серы (S),

0,02 вес.% титана (Ti),

0,05 вес.% ниобия (Nb),

0,05 вес.% ванадия (V),

0,1 вес.% вольфрама (W) и

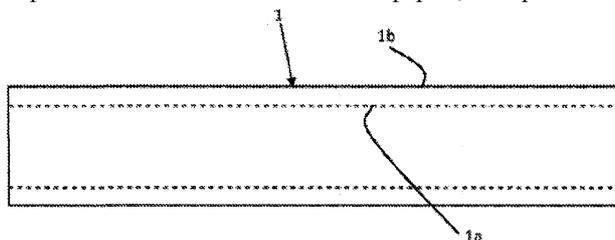
0,05 вес.% кобальта (Co),

причем содержание каждого из указанных элементов не превышает 0,01 вес.%.

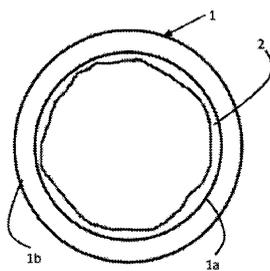
2. Композиция стали по п.1, содержащая от 0,09 до 0,11 вес.% углерода (C).

3. Композиция стали по любому из предыдущих пунктов, содержащая от 1,5 до 2,5 вес.% кремния (Si).

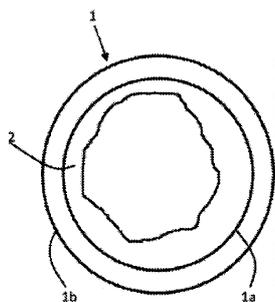
4. Композиция стали по любому из предыдущих пунктов, содержащая от 0,5 до 2 вес.% меди (Cu).
5. Композиция стали по любому из предыдущих пунктов, содержащая от 0,5 до 2,7 вес.% никеля (Ni).
6. Композиция стали по любому из предыдущих пунктов, содержащая от 0,4 до 0,8 вес.% марганца.
7. Композиция стали по любому из предыдущих пунктов, содержащая от 0,02 до 0,05 вес.% азота.
8. Композиция стали по любому из предыдущих пунктов, где примесь представляет собой алюминий, причем содержание алюминия составляет от 0,005 до 0,03 вес.%.
9. Композиция стали по п.1, где примеси представляют собой фосфор (P) и серу (S).
10. Композиция стали по любому из предыдущих пунктов, где процентные содержания кремния (Si), меди (Cu) и никеля (Ni) соответствуют следующим неравенствам:
 $Si < 1,5 * (0,3 Cu + Ni)$ для $Si < 2,5$ вес.%;
 $2 * Si < 1,5 * (0,3 Cu + Ni)$ для $Si \geq 2,5$ вес.%;
и $Cu < Ni$.
11. Трубчатый компонент, содержащий по меньшей мере одну часть, которая содержит композицию стали, содержащую
не более 0,15 вес.% углерода (C),
от 0,3 до 1 вес.% марганца (Mn),
от 1,4 до 3 вес.% кремния (Si),
от 0,5 до 3 вес.% меди (Cu),
от 8 до 10 вес.% хрома (Cr),
от 0,5 до 3 вес.% никеля (Ni),
от 0,01 до 0,07 вес.% азота (N),
от 0,8 до 1,1 вес.% молибдена (Mo),
при этом оставшаяся часть композиции содержит железо (Fe) и примеси по любому из предыдущих пунктов.
12. Трубчатый компонент по п.11, где часть, содержащая композицию стали по любому из пп.1-10, выполнена с возможностью размещения в контакте с атмосферой, содержащей нагар.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

