

### Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к стальной трубе, главным образом служащей для нефтяной скважины или газовой скважины (в дальнейшем обозначенная как "нефтяная скважина"), а более конкретно, относится к стальной трубе нефтяной скважины расширяемой при заделывании в нефтяной скважине и применяющейся в таком состоянии. Стальная труба имеет отличную коррозионную стойкость после расширения.

### Уровень техники

При разработке нефтяной скважины множество труб, называемое обсадной колонной, встроено в скважину и, таким образом, стена скважины предотвращена от обрушения. При разработке скважины отверстие выполняют бурением до тех пор, пока не достигается определенной глубины, и после этого обсадная труба заделывается в выкопанную скважину для того, чтобы предотвратить обрушение стены скважины. Таким образом, скважину выкапывают при последовательно продолжающихся буровых работах; однако, когда разработка достигнет следующей стадии глубины, обсадную трубу вводят вниз через предварительно заделанную обсадную трубу так, что диаметр каждой последующей обсадной трубы, заделываемой в более глубокий горизонт, уменьшается по сравнению с диаметром предварительно заделанной обсадной трубы.

В таком образом разработанной нефтяной скважине диаметр обсадной трубы в верхней части скважины большой, а с увеличением глубины обсадная труба становится меньшей в диаметре, наконец, через нее вводят стальную трубу, которая называется лифтовой колонной для нефти или газа. Следовательно, диаметр обсадной трубы в верхней части скважины получается обратным вычислением от диаметра трубопровода, который обеспечивается в том случае, когда скважина выкопана до заранее установленной глубины.

Соответственно, когда глубокая скважина выкопана, размер обсадной трубы в верхней части становится огромным и затраты, необходимые для карьерной разработки, тем самым увеличиваются.

Как описано в патентном документе 1, предложено решение, согласно которому обсадная труба скважины расширяется по радиусу, разница диаметров между каждой парой последовательных обсадных труб, формирующих многоступенчатую конструкцию обсадной колонны, выбрана меньшей, и, следовательно, размер верхней части скважины уменьшается. Этот способ предусматривает, что стальную трубу, имеющую диаметр меньший, чем требуемый диаметр стальной трубы, вставляют в нефтяную скважину и подвергают расширению в нефтяной скважине, чтобы иметь требуемый наружный диаметр стальной трубы. Заимствуя этот метод, описанный выше, диаметр обсадной трубы в верхней части скважины может быть уменьшен, и затраты, необходимые для разработки скважин, тем самым могут уменьшиться.

После расширения стальная труба в нефтяной скважине остается в состоянии, подвергнутом расширению при эксплуатации и взаимодействует с окружающей средой, такой как нефть или газ. В результате, стальной трубе в состоянии расширения при эксплуатации необходимо иметь заранее установленные эксплуатационные характеристики. При этом невозможно проводить термическую обработку по всей длине стальных труб после расширения и при эксплуатации с целью улучшения характеристик.

Трубы для нефтяных скважин отгружают в термообработанном состоянии, с определенной коррозионной стойкостью, а также наряду с этим сопротивлением к растрескиванию под действием напряжений в сульфидсодержащей среде (в дальнейшем именуемое как "SSC"), в окружающей среде из влажного сероводорода, во внимание принимается сопротивление к растрескиванию под действием напряжений в сульфидсодержащей среде (в дальнейшем именуемое как "SSC"). Однако для стальных труб, к которым применяется метод расширения, особенно важно учитывать ухудшение характеристик SSC, обусловленное деформационным упрочнением.

В патентном документе 2 предложена стальная труба с гарантированной величиной SSC после расширения и при эксплуатации. Однако стальная труба, представленная в патентном документе, - это стальная труба, в которой величина SSC после расширения достигнута за счет влияния на размер кристаллического зерна и снижения прочности стальной трубы до расширения, при этом размер кристаллического зерна установлен на заранее заданной величине или меньшим в зависимости от прочности, за счет этого для стальных труб обеспечивается сопротивление "SSC" после расширения.

Однако для производства такой стальной трубы, раскрытой в вышеуказанном документе, необходимо применение термообработки для формирования мелкого зерна, а контроль такой термообработки представляет собой нелегкую задачу. Дополнительно, в патентном документе 2 нет описания связи между азотом в стали, в частности, растворенным азотом (азот) и диффузионным водородом, в значительной степени влияющими на величину SSC.

Патентный документ 1:

Японская Публикация Международного Патента

Заявка № 7-507610.

Патентный документ 2:

Публикация нерассмотренной Японской Патентной заявки

№ 2002-266055.

Цель настоящего изобретения - обеспечение стальной трубы для нефтяной скважины, расширяющейся при заделывании, которая имеет превосходную коррозионную стойкость, в частности величину сопротивления SSC, после расширения при эксплуатации.

Для того чтобы достигнуть упомянутой ранее цели, настоящее изобретение предлагает стальную трубу, выполненную из углеродистой стали и стальную трубу из низколегированной стали, которые применяются как стальные трубы для нефтяной скважины, в которых обращается внимание на величину SSC этих труб после приложения радиального расширяющего усилия, в особенности, учитывается окклюзия (абсорбция газов металлами) водорода, проникающего в сталь из окружающей среды влажного сероводорода, и рассмотрена в подробностях связь между центром окклюзии водорода и наличием составляющих элементов в стали. В результате, авторы настоящего изобретения обнаружили следующие закономерности а) и б):

а) В зависимости от наличия в избытке растворимого N или его отсутствия существенно различаются характеристики центра окклюзии водорода.

б) В стали, в которой растворимый N имеется в избытке, диффузионный водород ухудшает свойство SSC, окклюзирован в стали с повышенным содержанием при увеличении коэффициента расширения, в то время как в стали, не содержащей растворимый азот или с присутствием растворимого азота, но в малых количествах, в частности в стали, в которой содержание растворимого азота менее 40 частей на миллион (ppm) или меньше, количество диффузионного водорода даже после расширения по сравнению с содержанием до расширения увеличивается незначительно.

Суть настоящего изобретения, усовершенствованного на основе вышеупомянутых описанных данных, заключается в описанной ниже стальной трубе нефтяной скважины, расширяющейся при заделывании.

Расширяющаяся при заделывании стальная труба для нефтяной скважины выполняется из стали, которая состоит, мас. %: из углерода 0,5-0,45, кремния 0,1-1,5, марганца 0,1-3,0, фосфора 0,03 или менее, серы 0,01 или менее, растворимого алюминия 0,05 или менее, и остатка железа и неизбежных примесей с содержанием растворенного азота 40 частей на миллион или менее.

Описанная выше расширяющаяся при заделывании стальная труба для нефтяной скважины может быть выполнена из стали, содержащей вместо части Fe по крайней мере одну выбранную составную часть из по крайней мере одной из следующих групп от А до С.

Группа А: ванадий 0,005-0,2 мас. %, титан 0,005-0,1 мас. %, ниобий 0,005-0,1 мас. %, бор 0,0005-0,005 мас. %.

Группа В: хром 0,1-1,5 мас. %, молибден 0,01-1,0 мас. %, никель 0,05-1,5 мас. %, медь 0,05-0,5 мас. % и

Группа С: кальций 0,001-0,005 мас. %.

#### **Пример осуществления изобретения**

Далее будет приведено подробное описание и обоснования для выбора состава стали, как описано выше для расширяющейся при заделывании стальной трубы для нефтяной скважины согласно настоящему изобретению. При этом в дальнейшем символ "%" относится к "% по массе", если не указано иное.

##### **1. Растворенный азот**

Вначале следует описать центр захвата водорода. Как метод для определения количества окклюзированного водорода в стали здесь может быть приведен метод исследования температурно-программируемой десорбции водорода. В методе исследования температурно-программируемой десорбции водорода во время повышения температуры стали измеряется количество выделенных атомов водорода при соответствующих температурах при помощи квадрупольного масс-спектрометра или подобного средства. В соответствии с этим методом рассматривается величина энергии активации водорода, связанная с захваченным состоянием, температура, при которой выделится водород, изменяется, и количество водорода может быть использовано в качестве величины для характеристики энергии активации водорода в захваченном состоянии.

Ранее явление хрупкости (водородной хрупкости), включая SSC считали зависящим от диффузионного водорода. Это общепринято в случае измерений, основанных на вышеупомянутом описании исследовании температурно-программируемой десорбции водорода, при этом частицы водорода, выделенные при температуре 200°C или ниже ассоциировали с диффузионным водородом. Частицы водорода, выделенные при температуре выше 200°C, включают частицы с высокими значениями энергии активации связанными с захватом водорода, и частицы безвозвратно захваченного водорода, которые вряд ли диффундируют при комнатной температуре. Поэтому такие рассмотренные частицы водорода влияют на водородную хрупкость в меньшей степени.

Ввиду этих обстоятельств, влияние составных элементов и результата расширения трубы на центр захвата водорода были рассмотрены более подробно на основе следующих процедур.

Четыре типа сталей, химический состав которых показан в табл. 1, были выплавлены. Используя эти стали посредством горячейковки, были изготовлены заготовки - 80 мм в диаметре и 300 мм в длину. Из этих брусков внешним точением и прошивкой были изготовлены бесшовные стальные трубы с внешним диаметром 75 мм, с толщиной стенки 10 мм и с длиной 300 мм. Значение предела текучести

[YS(МПа)] и значения твердости по шкале Роквелла (HRC) этих стальных труб показаны в табл. 2.

Дополнительно каждое из количеств растворимого N было взято как значение, выведенное из общего количества N в стали, которое определили химическим анализом, вычитая количество N вовлеченного в нитриды Ti, Nb, Al, V, B и полученное экстракцией осадков.

Таблица 1

Марка	Химический состав (% по массе, остаток Fe и примеси)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	B	Растворимый Al	Общее кол-во N	Доля растворимого N
A	0,25	0,29	1,26	0,009	0,0003	0,2	0,031	-	0,037	0,0085	0,0004
B	0,25	0,29	1,31	0,010	0,0003	0,2	0,011	-	0,036	0,0006	0,0000
C	0,25	0,29	1,28	0,010	0,0003	0,2	0,011	0,0013	0,038	0,0058	0,0021
D	0,26	0,28	1,26	0,009	0,0002	0,2	0,007	-	0,023	0,0062	0,0045

Таблица 2

Марка	Предел текучести (Мпа)	Прочность (HRC)
A	630	22,0
B	642	23,3
C	618	19,5
D	625	19,7

После термической обработки этих стальных труб была введена вставка для расширения, и таким образом было проведено радиальное расширение труб. Коэффициент расширения менялся в зависимости от размера вставки; были приняты два коэффициента радиального расширения: 10 и 20%. Образцы с 4-мя точками для испытания на изгиб, которые имели форму и размеры, показанные на фиг. 1, были отобраны от стальных труб до расширения и после расширения. Контрольные образцы устанавливались на гибочное приспособление 1, показанное на фиг. 2, и благодаря этому сопротивление SSC исследовали погружением контрольных образцов в раствор А, указанный в NACE TM-0177 (тестовый раствор, приготовленный насыщением при 1 атм H<sub>2</sub>S водного раствора с 5 мас.% NaCl+0,5 мас.% уксусной кислоты) в течение 720 ч. В этом случае устанавливалось напряжение под нагрузкой 85% от стандартного минимума предела текучести 552 МПа (соответствующее 80 ksi).

С другой стороны, образцы с 4-мя точками для испытания на изгиб из сталей марок А и D после вышеописанного испытания на определение величины сопротивления SSC, были подвергнуты исследованию по определению водорода окклюдируемого в стали посредством вышеописанного исследования температурно-программируемой десорбции водорода. В этом анализе установлен режим роста температуры 10°C/мин.

Результаты исследования сопротивления SSC показаны в табл. 3; результаты исследования, основанные на исследовании температурно-программируемой десорбции водорода, показаны на фиг. 3 и 4.

Таблица 3

Марка	Растворимый N (ppm)	Результаты испытания на изгиб в 4 точках		
		Коэффициент радиального расширения (%)		
		0%	10%	20%
A	4	0	0	0
B	0	0	0	0
C	21	0	0	x
D	45	0	x	x

Примечание: «0» обозначает без наличия SSC, а «x» обозначает наличие SSC

Фиг. 3 показывает график зависимости скорости выделения водорода (ppm/c) от температуры (°C) для марки стали D, имеющей высокое содержание растворимого азота - 45 ppm. Как видно из фигуры, с увеличением коэффициента расширения растет также и первый максимум, в диапазоне от 100 до 150°C. Это указывает на то, что количество диффузионного водорода, освобождаемого при температуре 200°C или ниже, растет с увеличением коэффициента расширения.

Фиг. 4 - график зависимости скорости выделения водорода (ppm/c) от температуры (°C) для марки стали А, имеющей низкое содержание растворимого N - 4 ppm, достигнутое связыванием N в виде TiN путем добавления Ti. В случае, если в стали А, подвергнутой расширению, растет второй максимум, найденный в диапазоне от 200 до 400°C, первый максимум, в диапазоне ниже 200°C показывает несущест-

венное отличие от первого максимума до расширения.

Обычно, когда подвергают расширению трубу, твердость повышается благодаря деформационному упрочнению. Чем выше твердость, тем больше образуется дислокаций, и на таких дислокационных участках концентрация диффузионного водорода становится выше. Однако, как может быть видно на фиг. 3 и 4, уровень энергии активации диффузионного водорода, окклюдированного в стали после расширения, при эксплуатации значительно изменяется в зависимости от содержания растворенного N, и доля диффузионного водорода, выделяемого при температуре 200°C или ниже, понижается в стали при снижении содержания растворенного азота. Это означает, что в стали с низким содержанием растворенного азота склонность к водородной хрупкости, т.е. рост подверженности SSC снижен.

Ввиду этих результатов, действие растворенного азота на центр захвата водорода было также исследовано более подробно на стальных трубах, сделанных из марок сталей В и С. Было обнаружено, что в сталях марок В и С с низким содержанием растворенного N картина аналогична случаю, показанному на фиг. 4; даже когда труба подвергнута расширению, первый максимум изменяется незначительно, а второй максимум появляется вновь в диапазоне от 200 до 400°C.

В сталях с низким содержанием растворенного азота высота второго максимума растет с увеличением коэффициента расширения. Однако, второй максимум, связанный с максимумом освобождаемого водорода при высоком значении энергии активации, то есть рассматриваемый водород, оказывает незначительное влияние на водородную хрупкость. В сталях А и С с низким содержанием растворенного азота, даже после расширения, только второй рассматриваемый максимум становится выше, но доля диффузионного водорода, связанного с первым максимумом, ниже, чем в стали D. Когда количество выделяемого диффузионного водорода при первом максимуме большое, сопротивление SSC понижено. Однако стали с низким содержанием диффузионного водорода имеют превосходное сопротивление SSC даже при большем значении доли освобождаемого водорода при втором максимуме. Подводя итоги, следует указать, что эффективно снижение содержания растворенного азота для обеспечения превосходного сопротивления SSC в стальных трубах после расширения.

В случае если расширение не применяется, первый максимум в стали с большим содержанием растворенного азота почти тот же, что в стали с низким содержанием растворенного азота. А количества окклюдированного диффузионного водорода у этих сталей почти идентичны друг другу.

Фиг. 5 показывает графическую зависимость между количеством диффузионного водорода (ppm), выделенного из стали в температурном интервале выше 200°C, и твердостью стали марки D по шкале Роквелла (HRC). На этой фигуре видно, что при расширении твердость повышается благодаря деформационному упрочнению. Обычно, чем выше твердость, тем больше дислокаций, и поэтому увеличивается количество захваченного диффузионного водорода. До настоящего момента считалось, что твердость и концентрация диффузионного водорода, окклюдированного сталью, связаны друг с другом пропорциональным образом. Однако, как можно увидеть на фиг. 5, в зависимости от содержания растворенного азота в стали, уровень концентрации диффузионного водорода относительно твердости изменяется при изменении расширения, и понижение содержания растворенного азота ведет к понижению концентрации диффузионного водорода, если смотреть при фиксированной твердости. Другими словами, можно наблюдать увеличение предрасположенности к водородной хрупкости, при этом предрасположенность к SSC снижена в том случае, если содержание растворенного азота незначительно.

Фактически, следует отметить относительно формирования SSC, что показано в табл. 3, в случае применения расширения SSC наблюдалось лишь в стали D, имеющей содержание растворенного азота выше 40 ppm, а стали А и С с низким содержанием растворенного азота проявили превосходное сопротивление SSC даже в случае расширения, в особенности, стали марок А и В, имеющие содержание растворенного азота 4 ppm и 0 ppm соответственно, показали превосходное сопротивление SSC даже после расширения с коэффициентом расширения 20%.

Исходя из вышеописанных наблюдений, в настоящем изобретении установлено, что содержание растворенного азота в стали 40 ppm или менее.

В данном случае, для обеспечения содержания растворенного азота в стали 40 ppm или менее общее содержание азота в стали может быть снижено, или азот может быть связан точным добавлением элементов, таких как Ti, Nb, V, B и Al; однако нет подробного описания ограничений, наложенных на метод уменьшения содержания растворенного азота в стали.

Для связывания достаточного количества растворенного азота в стали в виде нитридов необходимо установить соотношение между содержанием общего азота и содержанием растворенного азота, чтобы сделать содержание растворенного азота равным или ниже, чем запланированное содержание; образование нитридов такими элементами как Ti, Nb, V, B и Al достигается прибавлением необходимых элементов в стехиометрически определяемых количествах, для формирования нитридов. Однако вводимые количества элементов могут быть недостаточными, и, следовательно, важно определить количество добавляемых элементов, как приведено в нижеследующем описании.

Другими словами, содержание растворенного азота в стали не только определяется параметрами выплавки, но и изменяется в зависимости от параметров производства на последующих стадиях, например условий во время производства трубы, в том числе условий нагрева заготовки, температуры при

окончании производства трубы, температуры и периода времени нагрева и охлаждения с целью упрочнения, и, температуры и периода времени нагрева и охлаждения при отпуске. Следовательно, важно определить количество добавляемых элементов, таких как Ti, Nb, V, B и Al, образующих нитриды согласно вышеуказанному описанию.

С целью успешного осуществления реакций при высоких температурах, когда нитриды образуются особенно быстро, подходящее время выдержки при высокой температуре следует выбирать как можно большее, и реакции будут продолжаться до такой степени, которая будет соответствовать количеству добавленных элементов, образующих нитриды.

Кроме того, типы нитридов, образующихся в различных температурных диапазонах, отличаются друг от друга, и, следовательно, возможно оптимизировать температуру и время нагрева согласно вышеуказанному описанию типов нитридов, образующихся такими элементами как Ti и Nb. Например, в стальной образец добавляют необходимое количество Ti как элемента, образующего нитрид, где N связан с Ti, проводят нагрев заготовки во время производства стальной трубы при 1250°C или выше в течение 20 мин или больше. Кроме того, в образце, где N связан добавлением Al или Nb, во время упрочнения, проведенного после производства труб, желательно обеспечить продолжительность выдержки при 900°C или выше в течение 15 мин или более.

Кроме того, толщина стенки стальной трубы влияет на образование нитридов. Например, толстая стенка имеет медленную скорость охлаждения, и, следовательно, можно предположить, что образование нитридов продолжается в течение интервала времени между временем взятия из нагревательной печи во время упрочнения и временем начала водяного охлаждения. Следовательно, продолжительность выдержки может быть сокращена вышеуказанным интервалом времени. Однако тонкая стенка имеет высокую скорость охлаждения, так что управление временными параметрами в печи становится чрезвычайно важным.

## 2. Другие составляющие кроме растворенного азота

C 0,05-0,45%

Углерод (C) - необходимый элемент, обеспечивающий прочность и достаточную прокаливаемость стали. С целью получения этих эффектов содержание углерода должно составлять по крайней мере 0,05%. С другой стороны, если бы содержание углерода превышает 0,45%, то увеличивается склонность к образованию закалочной трещины во время упрочнения. В связи с этим содержание углерода составляет от 0,05 до 0,45%. Предпочтительный нижний предел 0,1%, а предпочтительный верхний предел 0,35%.

Кремний 0,1-1,5%

Кремний (Si) - элемент, который действует как раскислитель, а также повышает сопротивление разупрочнению при отпуске и таким образом повышает прочность. Однако при содержании кремния меньше чем 0,1% эти эффекты не могут быть полностью достигнуты. С другой стороны, при содержании кремния, превышающем 1,5%, способность стали поддаваться обработке в горячем состоянии заметно снижается. Исходя из этого, содержание кремния составляет от 0,1 до 1,5%. Предпочтительный нижний предел 0,2%, а предпочтительный верхний предел 1,0%.

Марганец 0,1-3,0%

Марганец (Mn) - элемент, который эффективно повышает способность стали закаливаться и придает стальной трубе прочность. При содержании марганца меньше, чем 0,1% эти эффекты не могут быть полностью достигнуты. С другой стороны, при содержании марганца, превышающем 3,0%, увеличивается сегрегация марганца Mn и пластичность понижается. Исходя из этого, содержание марганца выбирают от 0,1-3,0%. Предпочтительный нижний предел 0,3%, а предпочтительный верхний предел 1,5%.

Фосфор 0,03% или меньше

Фосфор (P) содержится в стали как примесь. Если его содержание превышает 0,03%, то фосфор распределяется по межзеренным границам и понижает пластичность. Так что содержание фосфора выбирается 0,03% или меньше. Предпочтительное содержание фосфора 0,015% или меньше. Кроме того, предпочтительно сделать содержание фосфора по возможности меньшим.

Сера 0,01% или меньше

Сера (S) содержится в стали как примесь, аналогично вышеописанному фосфору; сульфидные включения с Mn, Ca и подобными элементами понижают пластичность. Если содержание серы превышает 0,01, понижение пластичности становится заметным. Исходя из этого, содержание серы выбирают 0,01% или меньше. Предпочтительное содержание серы 0,005% или меньше. Кроме того, также предпочтительно сделать содержание серы по возможности меньшим.

Растворимый алюминий 0,05% или меньше

Алюминий (Al) - дополнительный раскислитель. Если содержание алюминия превышает 0,05% в переводе на долю растворимого алюминия, происходит снижение пластичности. Кроме того, раскислительный эффект интенсивный. Исходя из этого, содержание алюминия выбирают 0,05% или меньше в переводе на долю растворимого алюминия. Предпочтительное содержание 0,03% или меньше. С целью получения только раскислительного эффекта нижний предел может быть на уровне примеси. Однако алюминий проявляет себя как нитридообразующий, образуя AlN и связывая азот. Этот эффект может

быть достигнут при содержании растворимого алюминия 0,001% или больше, так что рекомендованное содержание растворимого алюминия 0,001% или больше для достижения желаемого эффекта.

Расширяющаяся при заделке стальная труба для нефтяной скважины согласно настоящему изобретению выполнена из стали, имеющей вышеописанный химический состав и остаток железа, а также неизбежные примеси, за исключением P и S.

Другая расширяющаяся при заделке стальная труба для нефтяной скважины согласно настоящему изобретению выполнена из стали, содержащей кроме вышеописанных компонентов, а именно вместо части Fe по крайней мере один компонент выбранный из хотя бы одной группы нижеуказанных групп от А до С.

Группа А: Ванадий(V) 0,005-0,2%, Титан (Ti) 0,005-0,1%, Ниобий (Nb) 0,005-0,1% и Бор (B) 0,0005-0,005%;

Группа В: Хром (Cr) 0,1-1,5%, Молибден (Mo) 0,1-1,0%, Никель (Ni) 0,05-1,5% и Медь (Cu) 0,05-0,5% и

Группа С: Кальций (Ca) 0,001-0,005%.

Ниже будет сделано описание этих компонентов.

V, Ti, Nb, B:

Любой из этих элементов может образовывать нитриды и тем самым связывать азот в стали. Другими словами, эти элементы понижают содержание растворенного азота. Исходя из этого, когда эффект этих элементов необходим, может быть добавлено один или несколько этих элементов. Желаемый эффект может быть получен при содержании 0,005% или больше для V, Ti, и Nb и 0,0005% или более для B. Однако, когда доля V превышает 0,2%, доля Ti и Nb превышает 0,1%, или доля B превышает 0,005%, происходит снижение пластичности стали. Исходя из этого, рекомендованные для содержания этих элементов следующие: 0,005-0,2% для V, 0,005-0,1% для Ti и Nb, и 0,0005-0,005% для B.

В данном случае V, образуя VC во время отпуска, увеличивает тем самым сопротивление разупрочнению и повышает прочность стали. Ti и Nb образуют карбонитриды при высоких температурах и тем самым предотвращают формирование крупного зерна.

Cr, Mo, Ni, Cu:

Любой из этих элементов эффективно повышает способность закаливаться и тем самым повышает прочность. Когда эффект этих элементов необходим, может быть добавлено один или несколько этих элементов. Желаемый эффект может быть получен при содержании 0,1% или больше для Cr и Mo, и 0,05% или больше для Ni и Cu. Однако когда содержание Cr или Ni превышает 1,5%, содержание Mo превышает 1,0% или содержание Cu превышает 0,5%, происходит снижение пластичности и коррозионной стойкости. Исходя из этого, рекомендованные содержания этих элементов, следующие: 0,1-1,5% для Cr, 0,1-1,0% для Mo, 0,05-1,5% для Ni и 0,05-0,5% для Cu.

Кальций (Ca):

Кальций - элемент, который способствует контролю форм сульфидов, повышает прочность и т.д. Исходя из этого, кальций может быть добавлен, когда необходим его эффект. Желаемый эффект может быть получен при содержании 0,001% или больше. Однако, когда содержание превышает 0,005%, возникает побочный эффект, включающий в себя образование большого количества включений, обуславливающих возникновение питтинговой коррозии. Исходя из этого, рекомендованное содержание Ca от 0,001-0,005%.

Пример.

22 стали, имеющие химический состав, указанный в табл. 4, выплавляли и подвергли испытанию, основанному на следующих операциях.

Стальной брусок из каждого типа стали был выдержан при 1250°C в течение 30 мин, а затем подвергнут горячей ковке с относительным уменьшением площади поперечного сечения 30%, чтобы получить заготовку диаметром 80 мм и длиной 300 мм. Бесшовная стальная труба с внешним диаметром 75 мм, с толщиной 10 мм и длиной 300 мм была произведена из заготовки внешним точением и прошивкой. Бесшовную стальную трубу выдержали при 1050°C в течение 10 мин, а затем подвергли закалке в воде. Затем трубу подвергли отпуску при 650°C в течение 30 мин. Таким образом были получены расширяющиеся стальные трубы, имеющие различные содержания растворенного азота.

Полученные расширяющиеся стальные трубы были подвергнуты радиальному расширению при комнатной температуре толканием вставки для расширения от одного конца трубы к другому. Применены два вида расширения, отличающиеся размером вставки, в которых коэффициенты радиального расширения были 10 и 20% соответственно. Из стальных труб с применением двух типов расширения и стальных труб до расширения были отобраны образцы с 4-мя точками для испытания на изгиб, имеющие форму и размеры, указанные на фиг. 1. Образцы установили на гибочное устройство 1, показанное на фиг. 2, а затем подвергли испытанию на растрескивание под действием напряжений в сульфидсодержащей среде (SSC).

Испытание на растрескивание под действием напряжений в сульфидсодержащей среде было проведено погружением образцов в раствор А, указанный в NACE TM-0177 (тестовый раствор, приготовленный насыщением при 1 атм H<sub>2</sub>S водного раствора с 5 мас.% NaCl+0,5 мас.% уксусной кислоты) в течение

720 ч. Образцы, у которых образование SSC не найдено, были разделены как отличные символом "О", а образцы, у которых было найдено образование SSC, были разделены как неудовлетворительные символом "х". В этом случае было установлено напряжение под нагрузкой в 85% от стандартного минимального предела прочности 552 МПа (соответствующее 80 ksi).

Полученные результаты приведены в табл. 5. В табл. 5 приведены значения предела прочности YS (МПа), полученные испытанием на предел прочности при комнатной температуре 12В образцов, указанных в JIS Z2241, отобранных у стальных труб до расширения.

Таблица 4

Химический состав (% по массе, Fe остаток и примеси)																		
Группа	Сталь №	C	Si	Mn	P	S	Ti	B	Раств. Al	Общий N	Раств N	Nb	V	Mo	Cr	Ni	Cu	Ca
Примеры настоящего изобретения	1	0,20	0,35	1,12	0,010	0,002	-	-	0,012	0,0032	0,0030	-	-	-	-	-	-	-
	2	0,31	0,52	1,88	0,010	0,003	-	-	0,041*	0,0018	0,0014	-	-	-	-	-	-	-
	3	0,25	0,29	1,28	0,010	0,003	0,011*	-	0,011	0,0048	0,0019	-	-	-	-	-	-	-
	4	0,22	0,21	1,56	0,009	0,002	-	0,0015*	0,011	0,0025	0,0012	-	-	-	-	-	-	-
	5	0,12	0,25	1,74	0,010	0,002	-	-	0,009	0,0041	0,0022	0,018	-	-	-	-	-	-
	6	0,20	0,35	2,20	0,015	0,001	-	-	0,001	0,0036	0,0023	-	0,13	-	-	-	-	-
	7	0,21	0,44	1,01	0,012	0,001	0,012*	-	0,012	0,0049	0,0007	0,008	0,005	-	-	-	-	-
	8	0,18	0,32	1,55	0,011	0,001	-	-	0,011	0,0015	0,0012	-	-	-	0,2	-	-	-
	9	0,25	0,58	1,58	0,010	0,002	-	-	0,015	0,0018	0,0013	-	-	0,8	-	-	-	-
	10	0,24	0,18	1,80	0,050	0,001	-	-	0,010	0,0019	0,0018	-	-	0,1	0,4	-	-	-
	11	0,15	0,35	1,35	0,011	0,001	-	-	0,031	0,0018	0,0011	-	-	-	-	0,26	-	-
	12	0,24	0,22	1,18	0,015	0,001	-	-	0,022	0,0021	0,0018	-	-	-	-	-	0,06	-
	13	0,12	0,33	1,39	0,011	0,002	-	-	0,028	0,0048	0,0029	0,017	-	-	0,2	0,38	0,22	-
	14	0,10	0,25	1,94	0,009	0,001	-	-	0,009	0,0035	0,0031	-	0,011	-	0,2	-	-	-
	15	0,10	0,25	2,10	0,016	0,002	-	-	0,008	0,0015	0,0010	-	-	-	-	-	-	0,001
	16	0,23	0,24	1,11	0,010	0,002	0,052*	-	0,008	0,0059	0,0000	-	-	-	-	-	-	0,002
	17	0,19	0,27	1,36	0,009	0,001	-	-	0,022	0,0018	0,0015	-	-	-	1,5	-	-	0,004
	18	0,21	0,28	1,26	0,015	0,002	0,018*	-	0,026*	0,0063	0,0000	0,021	-	0,3	0,5	-	-	0,003
Сравнительные примеры	19	0,26	0,32	1,09	0,012	0,001	0,012*	-	0,012	0,0069	0,0041*	-	-	-	-	-	-	-
	20	0,23	0,25	1,29	0,011	0,002	-	-	0,009	0,0062	0,0059*	-	-	-	-	-	-	-
	21	0,15	0,23	2,10	0,010	0,001	0,007*	-	0,023	0,0058	0,0037	-	-	1,2*	1,7	-	-	-
	22	0,22	0,28	1,35	0,013	0,002	0,010*	-	0,023	0,0062	0,0035	-	-	-	-	-	-	0,007

Примечание 1: символом «\*» обозначено предельно пониженное содержание, указанное в настоящем изобретении  
Примечание 2: символом «-» обозначено содержание примесного уровня

Таблица 5

Группа	Сталь №	Предел прочности (Мпа)	Сопротивление SSC			Примечание
			Коэффициент радиального расширения		Общая оценка	
			10%	20%		
Примеры настоящего изобретения	1	611	0	х	0	
	2	595	0	0	⊙	
	3	622	0	0	⊙	
	4	612	0	0	⊙	
	5	595	0	х	0	
	6	635	0	х	0	
	7	626	0	0	⊙	
	8	680	0	0	⊙	
	9	687	0	0	⊙	
	10	706	0	0	⊙	
	11	689	0	0	⊙	
	12	701	0	0	⊙	
	13	705	0	х	0	

	14	668	0	x	0	
	15	631	0	0	0	
	16	593	0	0	0	
	17	673	0	0	0	
	18	677	0	0	0	
Сравнительные примеры	19	593	x	x	x	× Время выдержки при ковке короткое, недостаточное для связывания N и доля растворенного N согласно настоящему изобретению предельно понижена
	20	618	x	x	x	× Содержание N слишком высокое, элементы, образующие нитриды не добавлены, содержание растворенного N предельно понижено в настоящем изобретении
	21	702	x	x	x	× Содержание Cr и Mo превышает норму, SSC вызвано образованием крупных карбидов
	22	636	x	x	x	× Содержание Ca превышает норму, SSC вызвано образованием слишком большого количества включений

Как можно увидеть в табл. 5, стальные трубы, выполненные из сталей номера с 1 по 18 превосходят в сопротивлении SSC после расширения. Особенно, стальные трубы, выполненные из сталей с номерами 2-4, 7-12, и 15-18 с очень низкой долей растворенного азота, на уровень 20 ppm или менее, а значит, обеспечивается сохранение превосходного сопротивления SSC даже после применения расширения с коэффициентом радиального расширения 20%.

С другой стороны, стальные трубы, выполненные из сталей с номерами 19-22 полностью неудовлетворительны по отношению к сопротивлению SSC после расширения. Более конкретно, стальная труба, выполненная из стали номер 19 имеет непродолжительное время разогрева при ковке, недостаточное для связывания азота (N) титаном (Ti), и доля растворенного азота превышает 40 ppm, так что эта стальная труба неудовлетворительна в сопротивлении SSC после расширения. Стальная труба из стали номер 20 не содержит элементов, которые образуют нитриды, так что эта труба имеет высокую долю растворенного азота 59 ppm и низкое сопротивление SSC. Стальная труба из стали номер 21 имеет высокие содержания хрома и молибдена, вследствие чего образуются крупные карбиды и эта труба имеет низкое сопротивление SSC. Стальная труба из стали номер 22, в которой доля Ca превышает норму, имеет большое количество включений; появляется SSC, которое возникает вследствие питтинговой коррозии, и эта труба имеет низкое сопротивление SSC.

#### Промышленная применимость

Расширяющаяся при заделывании стальная труба для нефтяной скважины согласно настоящему изобретению превосходна в сопротивлении SSC после расширения и весьма полезна при применении метода расширения при заделывании, в котором труба расширяется после введения в скважину.

#### Краткое описание чертежей

- Фиг. 1 - схема формы и размеров образца с 4-мя точками для испытания на изгиб;  
 фиг. 2 - схема гибочного приспособления, которое приводит в действие установленный на него образец с 4-мя точками для испытания на изгиб;  
 фиг. 3 - график зависимости между температурой стали с высокой долей растворенного азота и скоростью выделения водорода;  
 фиг. 4 - график зависимости между температурой стали с низкой долей растворенного азота и скоростью выделения водорода;  
 фиг. 5 - график зависимости между долей диффузионного водорода в стали и прочностью.

Пояснения обозначений:

1: Гибочное приспособление

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Расширяемая при заделывании стальная труба для нефтяной скважины, выполненная из стали, которая содержит в мас. %: углерод - 0,05-0,45, кремний - 0,1-1,5, марганец - 0,1-3,0, фосфор - 0,03 или меньше, серу - 0,01 или меньше, растворимый алюминий - 0,05 или меньше и остаток в виде железа и неизбежных примесей, при этом содержание растворенного азота составляет 40 ppm или меньше.

2. Расширяемая при заделывании стальная труба для нефтяной скважины, выполненная из стали,

которая содержит в мас. %: углерод - 0,05-0,45, кремний - 0,1-1,5, марганец - 0,1-3,0, фосфор - 0,03 или меньше, серу - 0,01 или меньше, растворимый алюминий - 0,05 или меньше, один или более элементов из ванадия - 0,005-0,2, титана - 0,005-0,1, ниобия - 0,005-0,1 и бора - 0,0005-0,005 и остаток в виде железа и неизбежных примесей, при этом содержание растворенного азота составляет 40 ppm или меньше.

3. Расширяемая при заделывании стальная труба для нефтяной скважины, выполненная из стали, которая содержит в мас. %: углерод - 0,05-0,45, кремний - 0,1-1,5, марганец - 0,1-3,0, фосфор - 0,03 или меньше, серу - 0,01 или меньше, растворимый алюминий - 0,05 или меньше, один или более элементов из хрома - 0,1-1,5, молибдена - 0,1-1,0, никеля - 0,05-1,5 и меди - 0,05-0,5 и остаток в виде железа и неизбежных примесей, при этом содержание растворенного азота составляет 40 ppm или меньше.

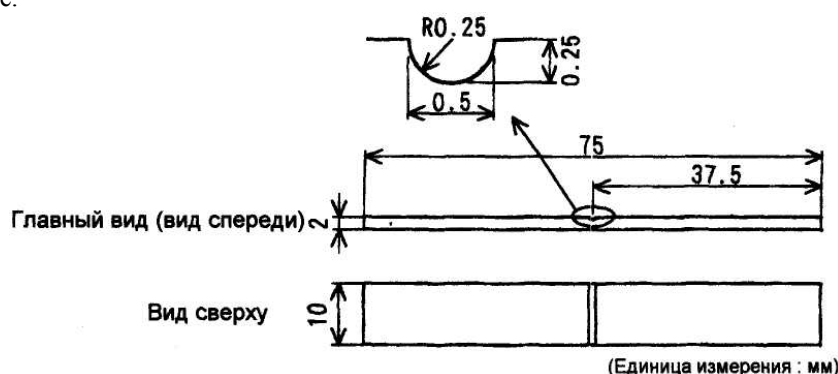
4. Расширяемая при заделывании стальная труба для нефтяной скважины, выполненная из стали, которая содержит в мас. %: углерод - 0,05-0,45, кремний - 0,1-1,5, марганец - 0,1-3,0, фосфор - 0,03 или меньше, серу - 0,01 или меньше, растворимый алюминий - 0,05 или меньше, кальций - 0,001-0,005 и остаток в виде железа и неизбежных примесей, при этом содержание растворенного азота составляет 40 ppm или меньше.

5. Расширяемая при заделывании стальная труба для нефтяной скважины, выполненная из стали, которая содержит в мас. %: углерод - 0,05-0,45, кремний - 0,1-1,5, марганец - 0,1-3,0, фосфор - 0,03 или меньше, серу - 0,01 или меньше, растворимый алюминий - 0,05 или меньше, один или более элементов из ванадия - 0,005-0,2, титана - 0,005-0,1, ниобия - 0,005-0,1 и бора - 0,0005-0,005, один или более элементов из хрома - 0,1-1,5, молибдена - 0,1-1,0, никеля - 0,05-1,5 и меди - 0,05-0,5 и остаток в виде железа и неизбежных примесей, при этом содержание растворенного азота составляет 40 ppm или меньше.

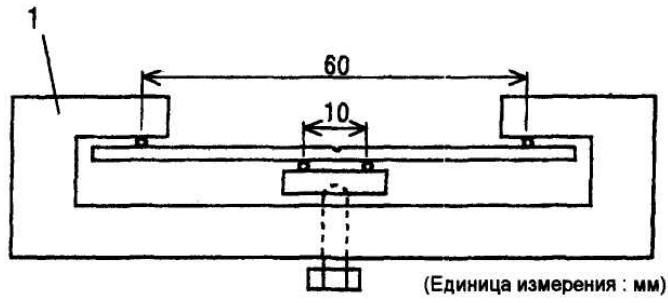
6. Расширяемая при заделывании стальная труба для нефтяной скважины, выполненная из стали, которая содержит в мас. %: углерод - 0,05-0,45, кремний - 0,1-1,5, марганец - 0,1-3,0, фосфор - 0,03 или меньше, серу - 0,01 или меньше, растворимый алюминий - 0,05 или меньше, кальций - 0,001-0,005, один или более элементов из ванадия - 0,005-0,2, титана - 0,005-0,1, ниобия - 0,005-0,1 и бора - 0,0005-0,005 и остаток в виде железа и неизбежных примесей, при этом содержание растворенного азота составляет 40 ppm или меньше.

7. Расширяемая при заделывании стальная труба для нефтяной скважины, выполненная из стали, которая содержит в мас. %: углерод - 0,05-0,45, кремний - 0,1-1,5, марганец - 0,1-3,0, фосфор - 0,03 или меньше, серу - 0,01 или меньше, растворимый алюминий - 0,05 или меньше, кальций - 0,001-0,005, один или более элементов из хрома - 0,1-1,5, молибдена - 0,1-1,0, никеля - 0,05-1,5 и меди - 0,05-0,5 и остаток в виде железа и неизбежных примесей, при этом содержание растворенного азота составляет 40 ppm или меньше.

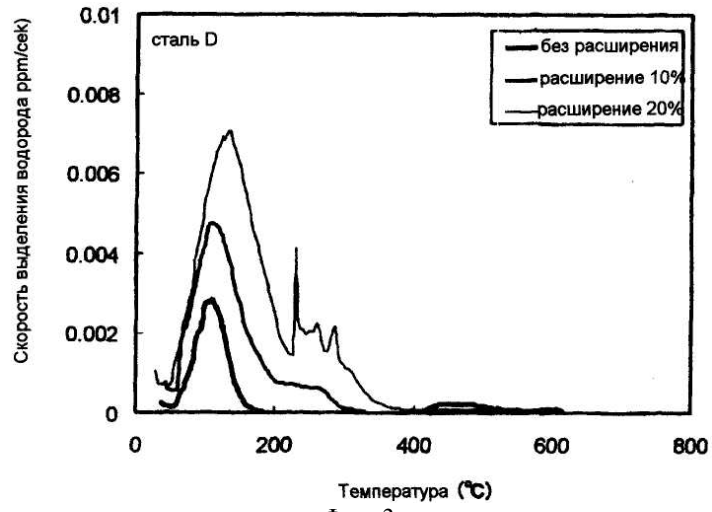
8. Расширяемая при заделывании стальная труба для нефтяной скважины, выполненная из стали, которая содержит в мас. %: углерод - 0,05-0,45, кремний - 0,1-1,5, марганец - 0,1-3,0, фосфор - 0,03 или меньше, серу - 0,01 или меньше, растворимый алюминий - 0,05 или меньше, кальций - 0,001-0,005, один или более элементов из ванадия - 0,005-0,2, титана - 0,005-0,1, ниобия - 0,005-0,1 и бора - 0,0005-0,005, один или более элементов из хрома - 0,1-1,5, молибдена - 0,1-1,0, никеля - 0,05-1,5 и меди - 0,05-0,5 и остаток в виде железа и неизбежных примесей, при этом содержание растворенного азота составляет 40 ppm или меньше.



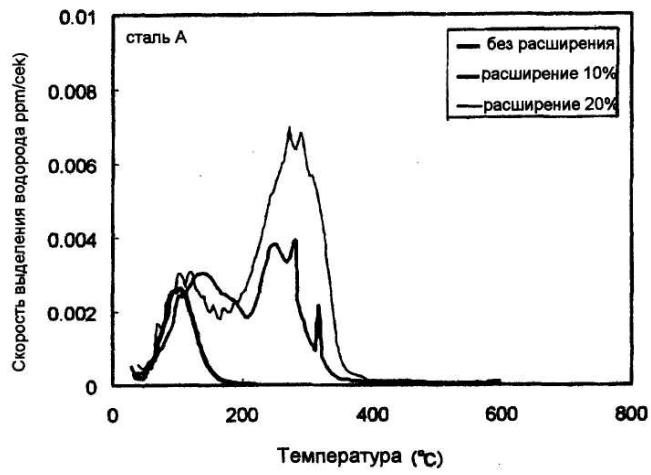
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Белые символы : без расширения  
 Черно- белые символы : расширения 10%  
 Черные символы : расширения 20%

