

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202292817** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2023.03.07

(22) Дата подачи заявки
2021.05.06

(51) Int. Cl. *C22C 38/02* (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/22 (2006.01)
C22C 38/26 (2006.01)
C22C 38/24 (2006.01)
C22C 38/28 (2006.01)
C22C 38/32 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01)
C21D 8/10 (2006.01)
C21D 1/18 (2006.01)
B21B 19/04 (2006.01)
B21B 19/10 (2006.01)
B21B 37/74 (2006.01)
B21D 3/00 (2006.01)
B21D 37/16 (2006.01)

(54) СТОЙКАЯ К СМЯТИЮ ВЫСОКОПРОЧНАЯ ОБСАДНАЯ ТРУБА ДЛЯ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН И СПОСОБ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА

(31) 202010392682.0

(32) 2020.05.11

(33) CN

(86) PCT/CN2021/091903

(87) WO 2021/227921 2021.11.18

(71) Заявитель:
БАОШАНЬ АЙРОН ЭНД СТИЛ КО.,
ЛТД. (CN)

(72) Изобретатель:

Дун Сяомин, Чжан Чжунхуа, Ян
Вэйго, Лю Цзямин (CN)

(74) Представитель:

Хмара М.В. (RU)

(57) Стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин и способ ее производства, которая содержит следующие химические элементы, в мас. %: С: 0,08-0,18%; Si: 0,1-0,4%; Mn: 0,1-0,28%; Cr: 0,2-0,8%; Mo: 0,2-0,6%; Nb: 0,02-0,08%; V: 0,01-0,15%; Ti: 0,02-0,05%; B: 0,0015-0,005% и Al: 0,01-0,05%. Способ производства стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин включает стадии (1) плавки и непрерывного литья; (2) перфорирования, прокатки и калибровки по размеру; (3) контролируемого охлаждения: начальная температура охлаждения равна $Ar3+50^{\circ}C$ и конечная температура охлаждения $\leq 80^{\circ}C$; стадию охлаждения применяют только к наружной поверхности обсадной трубы и не применяют к внутренней стенке обсадной трубы; и скорость контролируемого охлаждения лежит в диапазоне от 30 до $70^{\circ}C/c$; (4) отпуска и (5) термической правки. Стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин по настоящему изобретению имеет приемлемый химический состав и технологическую схему процесса, который не только имеет превосходную экономическую эффективность, но также обеспечивает высокую прочность, высокую ударную вязкость и высокую стойкость к смятию.

202292817
A1

202292817

A1

СТОЙКАЯ К СМЯТИЮ ВЫСОКОПРОЧНАЯ ОБСАДНАЯ ТРУБА ДЛЯ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН И СПОСОБ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА

Область техники

- 5 Настоящее изобретение относится к металлическому материалу и способу его производства, в частности – к обсадной трубе для нефтяных скважин и способу ее производства.

Предшествующий уровень техники

- 10 В настоящее время с ростом глубины и сложности эксплуатации ресурсов нефти и газа внутри страны или за рубежом флюидные пласты, пласты с повышенным давлением или сходные пласты залежей будут претерпевать большие изменения, и условия эксплуатации и стрессовые условия обсадных труб для нефтяных и водных скважин также становятся более сложными.
- 15 Примерно в 20% нефтяных и водных скважин в Китае возникали смятия обсадных труб, а в некоторых регионах – даже в 50% или более. В легких случаях смятая обсадная труба может нарушить регулярную добычу сырой нефти, а в тяжелых случаях вся скважина становится непригодной для эксплуатации, что приносит огромный экономический ущерб. Поэтому для адекватной эксплуатации
- 20 существующих ресурсов, повышения эффективности добычи и снижения необязательных убытков необходимо эффективно решить проблему смятия обсадных труб.

- К настоящему времени выполнено много отечественных и зарубежных исследовательских работ по механизмам, факторам влияния, способам
- 25 обнаружения смятия обсадных труб, а также исследований и разработок обсадных труб, обладающих высокой стойкостью к смятию, которые обеспечили ряд продуктов для обсадных труб с различными марками стали и различными спецификациями, которые до настоящего времени использовали при эксплуатации нефтяных месторождений и добыче нефти, однако
- 30 производственные и горнотехнические условия эксплуатируемых нефтяных месторождений не только являются исключительно сложными, но и значительно различаются в различных нефтяных месторождениях. Поэтому предъявляются более дифференцированные требования к стойким к смятию обсадным трубам.

- В японском патенте с номером публикации № JPH11-131189A, опубликованном 18 мая 1999 г. и имеющем название «Способ производства
- 35 стальной трубы», раскрыт способ производства стальной трубы. В способе производства нагрев производят в диапазоне температур от 750°C до 400°C, а

прокатку осуществляют в диапазоне деформаций от 20% до 60% для производства стального трубного изделия, имеющего предел текучести, равный 950 МПа или более, и хорошую ударную вязкость. Однако из-за низкой температуры нагрева в этом способе могут возникнуть большие трудности при прокатке. Кроме того, низкая температура прокатки может вызвать образование мартенситной структуры, которая нежелательна в продуктах для обсадных труб для нефтяных скважин.

В японском патенте с номером публикации № JP04059941A, опубликованном 26 февраля 1992 г. и имеющем название «Ударно-вязкая высокопрочная ТРИП-сталь», указано, что предел прочности на разрыв может достичь 120-160 тысяч фунтов на кв. дюйм за счет регулирования пропорций остаточных аустенитов (от 20% до 45%) и верхних бейнитов в стальной основе в процессе термической обработки. Проектный состав, указанный в этом патенте, отличается высоким содержанием углерода и высоким содержанием кремния. Эти два компонента могут значительно повысить прочность, однако при этом также может снизиться ударная вязкость. В то же время остаточные аустениты могут подвергнуться структурной трансформации во время использования нефтяной трубы (температура эксплуатации нефтяной трубы в глубоких скважинах равна 120°C или более), что повысит прочность, но снизит ударную вязкость.

Сущность изобретения

Одной из целей настоящего изобретения является обеспечение стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин. В композицию химических компонентов стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин добавлены Cr и V в качестве замены Mn для повышения закаливаемости стали, а Ti использован для подавления охрупчивающего эффекта N на границах зерен, за счет чего снижается стоимость легирующих элементов, добавляемых в обсадную трубу для нефтяных скважин, и предотвращается трещинообразование при закалке. Стойкая к смятию обсадная труба для нефтяных скважин имеет высокую прочность, высокую ударную вязкость и высокую стойкость к смятию, и более конкретно она имеет предел текучести, лежащий в диапазоне от 758 МПа до 965 МПа, предел прочности на разрыв ≥ 862 МПа, коэффициент удлинения $\geq 18\%$ и остаточное напряжение ≤ 120 МПа, а также имеет поглощенную энергию поперечного удара в испытании по Шарпи ≥ 80 Дж при 0°C. Кроме того, прочность на смятие равна 55 МПа или более согласно типичной спецификации $\Phi 244.48 \times 11.99$ мм, что превышает требуемое

согласно стандарту API значение на 40% или более, так что стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин может соответствовать требованиям, необходимым в глубоких скважинах и нефтяных и газовых месторождениях, в отношении прочности и стойкости к смятию обсадных труб для нефтяных скважин.

Для достижения указанной выше цели настоящее изобретение предусматривает стойкую к смятию высокопрочную обсадную трубу для нефтяных скважин, содержащую следующие химические элементы в массовых процентах:

10 C: 0,08%-0,18%;

Si: 0,1%-0,4%;

Mn: 0,1%-0,28%;

Cr: 0,2%-0,8%;

Mo: 0,2%-0,6%;

15 Nb: 0,02%-0,08%;

V: 0,01%-0,15%;

Ti: 0,02%-0,05%;

B: 0,0015%-0,005%; и

Al: 0,01%-0,05%.

20 Предпочтительно, в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению содержание каждого химического элемента в массовых процентах соответствует следующему:

C: 0,08%-0,18%;

Si: 0,1%-0,4%;

25 Mn: 0,1%-0,28%;

Cr: 0,2%-0,8%;

Mo: 0,2%-0,6%;

Nb: 0,02%-0,08%;

V: 0,01%-0,15%;

30 Ti: 0,02%-0,05%;

B: 0,0015%-0,005%;

Al: 0,01%-0,05%; и

остаток составляют Fe и другие неизбежные примеси.

В стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению принцип планирования каждого химического элемента является следующим:

35

С: В стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению С является карбидообразующим элементом, который может эффективно повышать прочность стали. Если массовый процент С составляет менее 0,08%, может снизиться закаливаемость стали, за счет чего снижается ударная вязкость стали. Однако, если массовый процент С превышает 0,18%, может быть значительно нарушена сегрегация стали, что станет причиной легкого возникновения трещин при закалке. Поэтому для соответствия требованию высокой прочности обсадной трубы для нефтяных скважин массовый процент С в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению регулируют так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,08% до 0,18%.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления настоящего изобретения массовый процент С можно отрегулировать так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,1% до 0,16%, для повышения закаливаемости и подавления трещинообразования при закалке.

Si: В стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению Si находится в форме твердого раствора в феррите, что может повысить предел текучести стали. Тем не менее, добавление большого количества Si в сталь не рекомендовано, поскольку слишком большое количество Si может ухудшить обрабатываемость и ударную вязкость стали. Однако следует отметить, что обсадная труба для нефтяных скважин может легко окисляться, если массовый процент Si в стали меньше 0,1%. Поэтому массовый процент Si в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению регулируют так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,1% до 0,4%.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления настоящего изобретения массовый процент Si можно отрегулировать так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,15% до 0,35%, для повышения обрабатываемости и ударной вязкости стали.

Mn: В стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению Mn является аустенитообразующим элементом, который может повысить закаливаемость стали. Если в системе стали стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин по настоящему изобретению массовый процент Mn меньше 0,1%, то закаливаемость стали может значительно снизиться, и вследствие этого может снизиться доля мартенсита в стали, что приведет к снижению ударной вязкости стали. Однако следует отметить, что высокое содержание Mn в стали не

рекомендовано. Если массовый процент Mn больше 0,28%, то легко будет происходить сегрегация компонентов, которая вызовет трещинообразование при закалке. Поэтому массовый процент Mn в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению регулируют так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,1% до 0,28%.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления настоящего изобретения массовый процент Mn можно отрегулировать так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,15% до 0,25%, для повышения закаливаемости и улучшения сегрегации.

Cr: В стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению в качестве элемента, который значительно повышает закаливаемость, и сильного карбидообразующего элемента Cr может осаждать карбиды во время отпуска, за счет чего повышается прочность стали. Однако следует отметить, что если в системе стали стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин по настоящему изобретению массовый процент Cr превышает 0,8%, то на границах зерен легко выпадают в осадок грубые $M_{23}C_6$ карбиды, что снижает ударную вязкость стали и легко вызывает трещинообразование при закалке; а если массовый процент Cr меньше 0,2%, то недостаточной будет закаливаемость. Поэтому массовый процент Cr в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению регулируют так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,2% до 0,8%.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления настоящего изобретения массовый процент Cr можно отрегулировать так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,4% до 0,7%, для повышения ударной вязкости и закаливаемости.

Mo: В стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению Mo повышает прочность и стабильность при отпуске стали, в основном – за счет карбида и упрочнения твердого раствора. Если в системе стали стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин по настоящему изобретению массовый процент Mo, добавленного к стали, превышает 0,6% или более, легко могут возникнуть трещины при закалке. Однако следует отметить, что если массовый процент Mo меньше 0,2%, прочность обсадной трубы для нефтяных скважин не сможет соответствовать требованию высокой прочности. Поэтому массовый процент Mo в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению регулируют так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,2% до 0,6%.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления настоящего изобретения массовый процент Мо можно отрегулировать так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,25% до 0,5%, для повышения прочности и подавления трещинообразования при закалке.

5 Nb: В стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению Nb является элементом, формирующим мелкие зерна и усиливающим осаждение в стали, что может компенсировать снижение прочности, обусловленное низким содержанием углерода. Кроме того, Nb может формировать NbC преципитаты и эффективно измельчать аустенитные
10 зерна. Однако следует отметить, что если в системе стали стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин по настоящему изобретению содержание Nb в стали меньше 0,02%, эффект, достигаемый за счет добавления Nb, может быть неочевидным; а если содержание Nb больше 0,08%, легко будет образовываться грубый Nb(CN), за счет чего снизится ударная
15 вязкость стали. Поэтому массовый процент Nb в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению регулируют так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,02% до 0,08%.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления настоящего изобретения массовый процент Nb можно отрегулировать так, чтобы он лежал в
20 диапазоне от 0,02% до 0,06%, для дополнительного повышения ударной вязкости и прочности.

V: В стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению V является характерным усиливающим преципитацию элементом, который может компенсировать снижение прочности,
25 вызванное снижением содержания углерода. Следует отметить, что если содержание V в стали меньше 0,01%, упрочняющий эффект V не будет выражен. Если содержание V в стали больше 0,15%, легко будет образовываться грубый V(CN), за счет чего снизится ударная вязкость стали. Поэтому массовый процент V в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по
30 настоящему изобретению регулируют так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,01% до 0,15%.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления настоящего изобретения массовый процент V можно отрегулировать так, чтобы он лежал в
диапазоне от 0,05% до 0,12%, для дополнительного повышения ударной вязкости
35 и прочности.

Ti: В стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению Ti является сильным

карбонитридообразующим элементом, который может значительно уменьшить размер аустенитных зерен в стали и может компенсировать снижение прочности, вызванное снижением содержания углерода. Если в системе стали стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин по настоящему изобретению содержание Ti в стали больше 0,05%, легко будет образовываться грубый TiN, за счет чего снизится ударная вязкость стали. Если содержание Ti в стали меньше 0,02%, Ti не сможет полностью прореагировать с N с образованием TiN, и тогда В в стали сможет прореагировать с N с образованием хрупкой фазы BN, что приведет к снижению ударной вязкости стали. Поэтому массовый процент Ti в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению регулируют так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,02% до 0,05%.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления настоящего изобретения массовый процент Ti можно отрегулировать так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,02% до 0,04%, для дополнительного повышения ударной вязкости.

В: В стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению В также является элементом, который может значительно повысить закаливаемость стали. В может решить проблему низкой закаливаемости, вызванной снижением содержания С. Однако, если в системе стали стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин содержание В в стали меньше 0,0015%, эффект повышения закаливаемости, вызванный В, не будет значительным. Кроме того, если содержание В в стали является слишком высоким, например – больше 0,005%, легко образуется хрупкая фаза BN, за счет чего снижается ударная вязкость стали. Поэтому в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению массовый процент В регулируют так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,0015% до 0,005%.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления настоящего изобретения массовый процент В можно отрегулировать так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,0015% до 0,003%, для дополнительного повышения ударной вязкости и закаливаемости.

Al: В стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению Al является хорошим деоксидирующим и азотфиксирующим элементом, который может эффективно измельчать зерна. Массовый процент Al в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для

нефтяных скважин по настоящему изобретению регулируют так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,01% до 0,05%.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления настоящего изобретения массовый процент Al можно отрегулировать так, чтобы он лежал в диапазоне от 0,015% до 0,035%, для дополнительного повышения деоксидизирующего эффекта и ингибирования включений.

Предпочтительно, в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению неизбежные примеси включают S, P и N, а их содержания соответствуют по меньшей мере одному из: $P \leq 0,015\%$, $N \leq 0,008\%$ и $S \leq 0,003\%$.

В описанных выше технических решениях в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению P, N и S являются неизбежными примесными элементами в стали, и чем ниже их содержания в стали, тем лучше.

Предпочтительно, в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению содержание каждого химического элемента в массовых процентах соответствует по меньшей мере одному из следующего:

C: 0,1%-0,16%;

Si: 0,15%-0,35%;

Mn: 0,15%-0,25%;

Cr: 0,4%-0,7%;

Mo: 0,25%-0,5%;

Nb: 0,02%-0,06%;

V: 0,05%-0,12%;

Ti: 0,02%-0,04%;

B: 0,0015%-0,003%; и

Al: 0,015%-0,035%.

Предпочтительно, в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению микроструктура обсадной трубы для нефтяных скважин является сорбитом отпуска.

Предпочтительно, в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе для нефтяных скважин по настоящему изобретению ее свойства соответствуют по меньшей мере одному из следующего: предел текучести, лежащий в диапазоне от 758 МПа до 965 МПа, предел прочности на разрыв ≥ 862 МПа, коэффициент удлинения $\geq 18\%$, остаточное напряжение ≤ 120 МПа, поглощенная энергия поперечного удара в испытании по Шарпи при 0°C ≥ 80 Дж, и стойкость к смятию,

равная 55 МПа или более согласно спецификации Ф244.48*11,99 мм, что превышает требуемое согласно стандарту API значение на 40% или более.

Соответственно, другой целью настоящего изобретения является обеспечение способа производства вышеуказанной стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин. Способ производства конкретно направлен на обсадную трубу для нефтяных скважин, содержащую указанные выше химические элементы в конкретном количестве. Производственная себестоимость способа производства является относительно низкой, и стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин, полученная посредством использования химических элементов в конкретном количестве по настоящему изобретению и в сочетании с представленным способом производства, может одновременно иметь следующие свойства: предел текучести, лежащий в диапазоне от 758 МПа до 965 МПа, предел прочности на разрыв ≥ 862 МПа, коэффициент удлинения $\geq 18\%$, остаточное напряжение ≤ 120 МПа, поглощенная энергия поперечного удара в испытании по Шарпи при $0^\circ\text{C} \geq 80$ Дж, и стойкость к смятию, равная 55 МПа или более согласно спецификации Ф244.48*11,99 мм, что превышает требуемое согласно стандарту API значение на 40% или более, так что стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин может в достаточной мере соответствовать требованиям, предъявляемым в случае глубоких скважин и нефтегазовых месторождений в отношении прочности и стойкости к смятию обсадных труб для нефтяных скважин. Это означает, что стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин, полученная с использованием конкретных соотношений химических компонентов по настоящему изобретению в сочетании со способом производства обсадной трубы для нефтяных скважин по настоящему изобретению, может обеспечить наилучшие эксплуатационные характеристики.

Для достижения указанных целей настоящее изобретение обеспечивает способ производства, пригодный для производства стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин, имеющей указанные соотношения химических элементов, включающий стадии:

- (1) плавки и непрерывного литья;
- (2) перфорирования, прокатки и калибровки по размеру;
- (3) контролируемого охлаждения: начальная температура охлаждения лежит в диапазоне от $A_{r3}+30^\circ\text{C}$ до $A_{r3}+70^\circ\text{C}$ (включая $A_{r3}+30^\circ\text{C}$ и $A_{r3}+70^\circ\text{C}$), причем A_{r3} относится к начальной температуре ферритного преобразования во время охлаждения, и начальная температура охлаждения дополнительно

регулируется так, чтобы она была равна $A_{r3}+50^{\circ}\text{C}$; конечная температура охлаждения $\leq 80^{\circ}\text{C}$; стадию охлаждения применяют только к наружной поверхности обсадной трубы и не применяют к внутренней стенке обсадной трубы. Например, можно распылять воду для охлаждения наружной поверхности обсадной трубы, и скорость охлаждения регулируют так, чтобы она лежала в диапазоне от $30^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до $70^{\circ}\text{C}/\text{с}$;

(4) отпуска; и

(5) термической правки.

В способе производства согласно предшествующему уровню техники обычно используют автономный процесс закалки и отпуска. Более конкретно, способ включает охлаждение горячекатаной обсадной трубы до комнатной температуры, повторный нагрев в печи до температуры аустенитизации, охлаждение обсадной трубы до комнатной температуры посредством водяного охлаждения и, в заключение, выполнение отпуска. В способе производства по настоящему изобретению, в отличие от автономного процесса термической обработки в форме закалки и отпуска, используемого для получения стандартной стойкой к смятию обсадной трубы, для получения стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин по настоящему изобретению для закалки используют остаточное тепло горячекатаной стальной обсадной трубы, то есть горячекатаную стальную обсадную трубу охлаждают до комнатной температуры за счет остаточного тепла и затем выполняют отпуск, что исключает стадию повторного нагрева. Способ производства по настоящему изобретению исключает автономную процедуру закалки и обеспечивает эффект, эквивалентный поточной закалке, а при включении в производство термической обработки отпуском можно значительно повысить эффективность производства при снижении себестоимости производства и потребления энергии, и можно обеспечить экологически безопасное производство.

Следует отметить, что различие между процессом контролируемого охлаждения и стандартной автономной закалкой состоит в том, что в процессе контролируемого охлаждения по настоящему изобретению во время стадии охлаждения охлаждают только наружную поверхность обсадной трубы и не производят охлаждение внутренней стенки обсадной трубы. Такой способ охлаждения может значительно снизить остаточное напряжение в корпусе обсадной трубы и эффективно повышает характеристики стойкости к смятию. Однако следует отметить, что для обеспечения высокой прочности полученной стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы обычно требуется больше легирующих элементов для повышения упрочняющего эффекта. Поскольку

обсадная труба непосредственно подвергается контролируемому охлаждению после горячей прокатки, обсадная труба может накапливать большую энергию из-за деформации зерен, что легко может привести к образованию трещин во время процесса контролируемого охлаждения. Поэтому в способе производства по

5 настоящему изобретению типы и содержания легирующих элементов необходимо оптимально спланировать для предотвращения образования трещин и концентрации напряжения в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе, чтобы обеспечить безопасность производства и стабильное качество.

Мп в стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубе может легко

10 вызвать дендритную сегрегацию, приводящую к региональному обогащению легирующими примесями и высокой твердости, что легко может привести к образованию закалочных трещин. Поэтому для решения проблемы недостаточной закаливаемости низкоуглеродных сталей добавляют В для повышения закаливаемости и содержания мартенсита после закалки; также

15 после процедуры термического отпуска может образовываться более однородная структура сорбита отпуска для обеспечения прочности и ударной вязкости стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин. Задачами настоящего изобретения являются формирование микроструктуры сорбита отпуска после отпуска, и, конечно же, в нее неизбежно могут быть

20 включены некоторые другие нежелательные микроструктуры. Задачами настоящего изобретения являются формирование микроструктуры сорбита отпуска с объемной долей, близкой к 100%; кроме того, объемная доля может достигать 95% или более и дополнительно регулироваться так, чтобы она была равна 98% или более. Другими неизбежными микроструктурами являются,

25 например, остаточные аустениты или ферриты, или их комбинация. Объемную долю этих неизбежных микроструктурных компонентов регулируют так, чтобы она лежала в пределах 5% (включая 5%), и дополнительно регулируют так, чтобы она лежала в пределах 2% (включая 2%). Соответственно, микроструктуры после закалки преимущественно включают мартенситы и небольшие количества

30 остаточных аустенитов и/или ферритов, причем объемная доля мартенситов равна 95% или более, тогда как остаточная объемная доля остаточных аустенитов и/или ферритов равна 5% или менее. Микроструктура сорбита отпуска более благоприятна для того, чтобы обсадная труба для нефтяных скважин имела как высокую прочность, так и хорошую ударную вязкость.

35 Предпочтительно, в способе производства по настоящему изобретению при непрерывном литье во время стадии (1) степень перегрева расплавленной стали регулируют так, чтобы она была ниже 30°C, и чтобы скорость вытягивания

при непрерывном литье лежала в диапазоне от 1,6 м/мин до 2,0 м/мин для дополнительного улучшения сегрегации.

Предпочтительно, в способе производства по настоящему изобретению во время стадии (2) круглую заготовку подвергают томлению в печи при температуре, лежащей в диапазоне от 1260°C до 1290°C; температуру перфорирования регулируют так, чтобы она лежала в диапазоне от 1180°C до 1260°C; температуру конечной прокатки регулируют так, чтобы она лежала в диапазоне от 900°C до 980°C; и температура калибровки по размеру после конечной прокатки лежит в диапазоне от 850°C до 920°C, что дополнительно повышает стабильность микроструктуры после прокатки.

Предпочтительно, в способе производства по настоящему изобретению во время стадии (4) температура отпуска лежит в диапазоне от 500°C до 600°C, а время выдержки лежит в диапазоне от 50 мин до 80 мин для дополнительного повышения стабильности технических характеристик.

Предпочтительно, в способе производства по настоящему изобретению во время стадии (4) температура термической правки лежит в диапазоне от 400°C до 500°C для улучшения прямолинейности стальной обсадной трубы.

По сравнению с предшествующим уровнем техники стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин имеет следующие преимущества и полезные эффекты.

В композицию химических компонентов стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин по настоящему изобретению добавлены Cr и V в качестве замены Mn для повышения закаливаемости стали, а Ti использован для подавления охрупчивающего эффекта N на границах зерен, за счет чего снижается стоимость легирующих элементов, добавляемых в обсадную трубу для нефтяных скважин, и эффективно предотвращается трещинообразование при закалке. Стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин имеет предел текучести, лежащий в диапазоне от 758 МПа до 965 МПа, предел прочности на разрыв ≥ 862 МПа, коэффициент удлинения $\geq 18\%$ и остаточное напряжение ≤ 120 МПа, а также имеет поглощенную энергию поперечного удара в испытании по Шарпи при 0°C ≥ 80 Дж. Стойкость к смятию равна 55 МПа или более согласно спецификации Ф244.48*11,99 мм, что превышает требуемое согласно стандарту API значение на 40% или более, так что можно удовлетворить требования, предъявляемые в случае глубоких скважин и нефтегазовых месторождений к характеристикам прочности и стойкости к смятию обсадных труб для нефтяных скважин.

Кроме того, согласно способу производства стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин по настоящему изобретению сталь приобретает высокую прочность и хорошую ударную вязкость за счет применения технологии контролируемого термомеханического процесса (TMCP; от англ.: thermo-mechanical control process); процесс осуществления способа производства является простым, а производственные расходы являются низкими, при этом легко реализовать крупномасштабное производство, и поэтому обеспечиваются значительные экономические выгоды.

10 Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

15 Стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин и способ ее производства по настоящему изобретению более подробно описаны и иллюстрированы ниже в сочетании с конкретными примерами. Однако разъяснение и иллюстрация не ограничивают каким-либо образом технические решения настоящего изобретения.

Примеры 1-6 и Сравнительные примеры 1-4

20 В Таблице 1 перечислены химические элементы всех стойких к смятию высокопрочных обсадных труб для нефтяных скважин согласно Примерам 1-6 и Сравнительным примерам 1-4 в массовых процентах.

Таблица 1 (масс. %, остаток составляют Fe и неизбежные примеси, за исключением P, S и N)

No.	Химические элементы												
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Nb	Ti	B	Al	N	V	P	S
Пример 1	0,08	0,15	0,1	0,2	0,2	0,02	0,02	0,0015	0,01	0,004	0,01	0,015	0,001
Пример 2	0,10	0,1	0,15	0,4	0,25	0,04	0,025	0,002	0,04	0,005	0,03	0,008	0,0015
Пример 3	0,12	0,35	0,25	0,6	0,4	0,06	0,04	0,003	0,05	0,006	0,05	0,007	0,002
Пример 4	0,16	0,4	0,2	0,8	0,6	0,08	0,04	0,004	0,035	0,007	0,12	0,011	0,0025
Пример 5	0,18	0,25	0,25	0,7	0,5	0,05	0,05	0,005	0,015	0,008	0,15	0,005	0,003
Пример 6	0,14	0,25	0,2	0,6	0,4	0,04	0,05	0,003	0,02	0,008	0,11	0,005	0,003

Сравнительный пример 1	<u>0,25</u>	0,26	<u>1,2</u>	0,4	0,4	0,04	0,02	0,0015	0,023	0,008	0,05	0,008	0,0015
Сравнительный пример 2	0,15	0,33	<u>1,2</u>	<u>1,5</u>	0,3	0,03	-	-	0,04	0,005	0,03	0,007	0,002
Сравнительный пример 3	0,12	0,3	0,3	0,4	0,4	-	0,04	0,003	0,05	0,006	-	0,011	0,0025
Сравнительный пример 4	0,18	0,3	<u>0,8</u>	0,3	0,4	0,04	0,02	0,004	0,05	0,008	0,06	0,005	0,003

Все стойкие к смятию высокопрочные обсадные трубы для нефтяных скважин согласно Примерам 1-6 по настоящему изобретению и Сравнительным примерам 1-4 были изготовлены согласно следующим стадиям.

5 (1) Плавка и непрерывное литье: во время стадии непрерывного литья степень перегрева расплавленной стали регулировали так, чтобы она была ниже 30°C, а скорость вытягивания при непрерывном литье регулировали так, чтобы она лежала в диапазоне от 1,6 м/мин до 2,0 м/мин.

10 (2) Перфорирование, прокатка и калибровка по размеру: круглую заготовку подвергали томлению в печи при температуре, лежавшей в диапазоне от 1260°C до 1290°C; температуру перфорирования регулировали так, чтобы она лежала в диапазоне от 1180°C до 1260°C; температуру конечной прокатки регулировали так, чтобы она лежала в диапазоне от 900°C до 980°C; и чтобы температура калибровки по размеру после конечной прокатки лежала в диапазоне от 850°C до 15 920°C.

(3) Контролируемое охлаждение: начальная температура охлаждения лежала в диапазоне от Ar3+30°C до Ar3+70°C, и конечная температура охлаждения была ≤80°C; стадию охлаждения применяли только к наружной поверхности обсадной трубы и не применяли к внутренней стенке обсадной 20 трубы; скорость охлаждения регулировали так, чтобы она лежала в диапазоне от 30°C/с до 70°C/с; более конкретно, горячекатаную обсадную трубу подвергают стадии контролируемого охлаждения после калибровки по размеру; холодильное оборудование было охлаждающим водяным кольцом с регулируемым количеством и давлением воды, которое распыляет воду для охлаждения 25 наружной поверхности корпуса обсадной трубы; начальная температура охлаждения была равна Ar3+50°C, и обсадную трубу подвергали водяному охлаждению при температуре ≤80°C. Этот процесс является поточной закалкой.

(4) Отпуск: температура отпуска лежала в диапазоне от 500°C до 600°C, а время выдержки лежало в диапазоне от 50 мин до 80 мин.

(5) Термическая правка: температура термической правки лежала в диапазоне от 400°C до 500°C.

- 5 В Таблице 2-1 и Таблице 2-2 указаны конкретные технологические параметры способов производства стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин согласно Примерам 1-6 и Сравнительным примерам 1-4.

10

Таблица 2-1

No.	Стадия (1)			Стадия (2)		
	Степень перегрева (°C)	Скорость вытягивания при непрерывном литье (м/мин)	Температура в печи (°C)	Температура перфорирования (°C)	Конечная температура прокатки (°C)	Температура калибровки по размеру (°C)
Пример 1	15	2,0	1260	1180	900	880
Пример 2	20	1,8	1270	1200	910	850
Пример 3	30	1,6	1280	1210	930	870
Пример 4	25	1,8	1290	1190	960	920
Пример 5	20	1,8	1260	1260	980	890
Пример 6	20	1,7	1260	1260	970	900
Сравнительный пример 1	15	1,9	1260	1220	930	920
Сравнительный пример 2	20	1,8	1270	1210	920	860
Сравнительный пример 3	30	1,6	1280	1210	930	870
Сравнительный пример 4	25	1,9	1290	1240	980	890

Таблица 2-2

No.	Стадия (3)			Стадия (4)		Стадия (5)	Ar3 (°C)
	Начальная температура охлаждения (°C)	Температура охлаждения (°C/s)	Конечная температура охлаждения (°C)	Температура отпуска (°C)	Температура выдержки (мин)	Температура термической правки (°C)	

Пример 1	910	30	20	540	50	400	858
Пример 2	880	40	30	520	60	420	817
Пример 3	870	50	40	590	60	440	812
Пример 4	840	60	60	580	80	460	784
Пример 5	840	70	80	550	70	480	784
Пример 6	850	50	70	560	75	500	802
Сравнительный пример 1	780	40	40	520	70	420	699
Сравнительный пример 2	790	50	60	570	60	440	721
Сравнительный пример 3	-	-	-	590	60	460	811
Сравнительный пример 4	820	60	150	600	60	480	754

Указанную стойкую к смятию высокопрочную обсадную трубу для нефтяных скважин согласно Примерам 1-6 и Сравнительным примерам 1-4
5 изготавливали с получением обсадных труб, имеющих спецификацию Ф244.48*11.99 мм, которые затем испытывали на различные свойства. Полученные результаты приведены в Таблице 3.

В Таблице 3 приведены результаты испытаний на механические свойства
10 стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин согласно Примерам 1-6 и Сравнительным примерам 1-4. Предел текучести, предел прочности на разрыв, коэффициент удлинения и энергию поперечного удара измеряли согласно API SPEC 5CT, а стойкость к смятию и остаточное напряжение измеряли согласно ISO/TR10400.

15

Таблица 3

No.	Предел текучести (МПа)	Предел прочности и на разрыв (МПа)	Коэффициент удлинения (%)	Энергия поперечного удара при 0°C (Дж)	Стойкость к смятию (МПа)	Остаточное напряжение (МПа)
Пример 1	810	870	26	115	59	80
Пример 2	830	910	24	102	61	60
Пример 3	790	970	23	98	58	90
Пример 4	900	990	21	95	65	50

Пример 5	960	1060	20	88	68	100
Пример 6	910	1010	21	110	65	85
Сравнительный пример 1	920	990	18	30	56	70
Сравнительный пример 2	720	800	25	85	49	80
Сравнительный пример 3	730	790	24	90	52	170
Сравнительный пример 4	750	830	19	60	57	130

В комбинации Таблицы 1 и Таблицы 3 химические компоненты и соответствующие технологические параметры стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин из Примеров 1-6 соответствуют проектным спецификациям, требуемым настоящим изобретением. Компоненты из Примера 6 находятся в предпочтительном диапазоне концентраций компонентов и обеспечивают лучшие показатели качества. В случае Сравнительного примера 1 содержание С в композиции химических компонентов превышает диапазон, определенный техническим решением по настоящему изобретению, и начальная температура охлаждения также превышает диапазон, определенный техническим решением по настоящему изобретению. В случае Сравнительного примера 2 В и Ti не добавлены в композицию химических компонентов. В случае Сравнительного примера 3 не добавлены V и Nb, вместо контролируемого процесса охлаждения был использован автономный процесс закалки и отпуска, причем температура закалки была равна 900°C, и ее поддерживали в течение 40 минут, а параметры процесса отпуска были такими, как показано в Таблице 2-2, и в результате полученная обсадная труба имела высокое остаточное напряжение. В случае Сравнительного примера 4 содержания Mn и Cr в композиции химических компонентов превышают диапазон, определенный техническим решением по настоящему изобретению, и конечная температура охлаждения превышает диапазон, определенный техническим решением по настоящему изобретению. По меньшей мере одно механическое свойство обсадных труб в Сравнительных примерах 1-4 не соответствовало стандартам обсадной трубы для нефтяных скважин с высокой прочностью, высокой ударной вязкостью и высокой стойкостью к смятию.

Из Таблицы 3 можно видеть, что все Примеры по настоящему изобретению имели предел текучести ≥ 758 МПа, предел прочности на разрыв ≥ 862 МПа, поглощенную энергию поперечного удара при 0°C ≥ 80 Дж, коэффициент удлинения $\geq 18\%$, остаточное напряжение ≤ 120 МПа и стойкость к смятию ≥ 55 МПа, что превышало требуемое согласно стандарту API значение на 50% или более (значение согласно стандарту API равно 36,5 МПа), то есть стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин согласно Примерам 1-6 обладает высокой прочностью, высокой ударной вязкостью и высокой стойкостью к смятию и является пригодной для изготовления обсадных труб для нефтяных скважин для эксплуатации глубоких скважин.

Следует отметить, что приведенные выше примеры являются лишь конкретными примерами осуществления настоящего изобретения. Очевидно, что настоящее изобретение не ограничено приведенными выше примерами, и сходные изменения или модификации могут в дальнейшем быть выполнены или предложены специалистами в данной области техники на основании описания настоящего изобретения, и все они должны входить в объем правовой охраны настоящего изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин, содержащая следующие химические элементы в массовых процентах:

C: 0,08%-0,18%;

Si: 0,1%-0,4%;

Mn: 0,1%-0,28%;

Cr: 0,2%-0,8%;

Mo: 0,2%-0,6%;

Nb: 0,02%-0,08%;

V: 0,01%-0,15%;

Ti: 0,02%-0,05%;

B: 0,0015%-0,005%; и

Al: 0,01%-0,05%.

2. Стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин по п. 1, отличающаяся тем, что содержание каждого химического элемента в массовых процентах соответствует следующему:

C: 0,08%-0,18%;

Si: 0,1%-0,4%;

Mn: 0,1%-0,28%;

Cr: 0,2%-0,8%;

Mo: 0,2%-0,6%;

Nb: 0,02%-0,08%;

V: 0,01%-0,15%;

Ti: 0,02%-0,05%;

B: 0,0015%-0,005%;

Al: 0,01%-0,05%; и

остаток составляют Fe и другие неизбежные примеси.

3. Стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин по п. 2, отличающаяся тем, что неизбежные примеси включают S, P и N, причем содержания S, P и N соответствуют по меньшей мере одному из: $P \leq 0,015\%$, $0 < N < 0,008\%$ и $S \leq 0,003\%$.

4. Стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин по п. 1 или п. 2, отличающаяся тем, что содержание каждого химического элемента в массовых процентах соответствует по меньшей мере одному из:

C: 0,1%-0,16%;

Si: 0,15%-0,35%;

Mn: 0,15%-0,25%;

Cr: 0,4%-0,7%;

Mo: 0,25%-0,5%;

Nb: 0,02%-0,06%;

V: 0,05%-0,12%;

Ti: 0,02%-0,04%;

B: 0,0015%-0,003%; и

Al: 0,015%-0,035%.

5. Стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин по п. 1 или п. 2, отличающаяся тем, что микроструктура обсадной трубы является сорбитом отпуска.

6. Стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин по п. 1 или п. 2, отличающаяся тем, что стойкая к смятию высокопрочная обсадная труба для нефтяных скважин имеет свойства, соответствующие по меньшей мере одному из следующего: предел текучести, лежащий в диапазоне от 758 МПа до 965 МПа, предел прочности на разрыв ≥ 862 МПа, коэффициент удлинения $\geq 18\%$, остаточное напряжение ≤ 120 МПа, поглощенная энергия поперечного удара в испытании по Шарпи при 0°C ≥ 80 Дж и стойкость к смятию, равная 55 МПа или более согласно спецификации $\Phi 244.48 \times 11,99$ мм, что превышает требуемое согласно стандарту API значение на 40% или более.

7. Способ производства стойкой к смятию высокопрочной обсадной трубы для нефтяных скважин по любому из пунктов с 1 по 6, включающий стадии:

(1) плавки и непрерывного литья;

(2) перфорирования, прокатки и калибровки по размеру;

(3) контролируемого охлаждения: начальная температура охлаждения лежит в диапазоне от $\text{Ar3}+30^{\circ}\text{C}$ до $\text{Ar3}+70^{\circ}\text{C}$, и конечная температура охлаждения $\leq 80^{\circ}\text{C}$; стадию охлаждения применяют только к наружной поверхности обсадной трубы и не применяют к внутренней стенке обсадной

трубы; и скорость контролируемого охлаждения лежит в диапазоне от 30°C/с до 70°C/с;

(4) отпуска; и

(5) термической правки.

8. Способ производства по п. 7, отличающийся тем, что при непрерывном литье во время стадии (1) степень перегрева расплавленной стали регулируют так, чтобы она была ниже 30°C, а скорость вытягивания при непрерывном литье лежит в диапазоне от 1,6 м/мин до 2,0 м/мин.

9. Способ производства по п. 7, отличающийся тем, что во время стадии (2) круглую заготовку подвергают томлению в печи при температуре, лежащей в диапазоне от 1260°C до 1290°C; температуру перфорирования регулируют так, чтобы она лежала в диапазоне от 1180°C до 1260°C; температуру конечной прокатки регулируют так, чтобы она лежала в диапазоне от 900°C до 980°C; и температура калибровки по размеру после конечной прокатки лежит в диапазоне от 850°C до 920°C.

10. Способ производства по п. 7, отличающийся тем, что во время стадии (4) температура отпуска лежит в диапазоне от 500°C до 600°C, а время выдержки лежит в диапазоне от 50 мин до 80 мин.

11. Способ производства по п. 7, отличающийся тем, что во время стадии (4) температура термической правки лежит в диапазоне от 400°C до 500°C.