

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202291137** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.09.09

(22) Дата подачи заявки
2020.10.23

(51) Int. Cl. *C22C 38/00* (2006.01)
C22C 38/18 (2006.01)
C22C 38/22 (2006.01)
C22C 38/24 (2006.01)
C22C 38/26 (2006.01)
C22C 38/28 (2006.01)
C22C 38/32 (2006.01)
C21D 8/10 (2006.01)

(54) СТОЙКАЯ К СМЯТИЮ НЕФТЕПРОМЫСЛОВАЯ ОБСАДНАЯ ТРУБА И СПОСОБ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

(31) 201911015146.2

(32) 2019.10.24

(33) CN

(86) PCT/CN2020/123283

(87) WO 2021/078255 2021.04.29

(71) Заявитель:

**БАОШАНЬ АЙРОН ЭНД СТИЛ КО.,
ЛТД. (CN)**

(72) Изобретатель:

**Дун Сяомин, Чжан Чжунхуа, Чжао
Цуньяо, Лу Сяоцин (CN)**

(74) Представитель:

Хмара М.В. (RU)

(57) Раскрыта стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба, содержащая химические элементы в следующем составе по массе: 0,08-0,15% углерода (C), 0,1-0,4% кремния (Si), 0,1-0,3% марганца (Mn), 1-1,5% хрома (Cr), 1-1,5% молибдена (Mo), 0,04-0,08% ниобия (Nb), 0,15-0,25% ванадия (V), 0,02-0,05% титана (Ti), 0,0015-0,005% бора (B), 0,01-0,05% алюминия (Al), 0,002-0,004% кальция (Ca), остальное - железо (Fe) и иные неизбежные примеси. Также раскрыт способ изготовления стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубы, включающий в себя этапы, на которых: (1) осуществляют выплавку и непрерывную разливку; (2) осуществляют перфорацию; (3) осуществляют прокатку; (4) осуществляют регулируемое охлаждение; (5) осуществляют закалку и отпуск; и (6) осуществляют горячую калибровку и горячую правку.

A1

202291137

202291137

A1

СТОЙКАЯ К СМЯТИЮ НЕФТЕПРОМЫСЛОВАЯ ОБСАДНАЯ ТРУБА И СПОСОБ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

- 5 Настоящее изобретение относится к стальной трубе и к способу ее изготовления, в частности – к нефтепромысловой обсадной трубе и способу ее изготовления.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

- 10 В последнее время, для разведки на нефть все чаще применяют глубокие и сверхглубокие скважины, в связи с чем предъявляются жесткие требования к прочности материалов трубных колонн для обеспечения безопасности в условиях высокой температуры и высокого давления при разведке и обустройстве. В сфере нефтегазодобычи также возможно применение
- 15 сверхглубоких трубных колонн в условиях воздействия таких физических нагрузок, как высокая температура, высокое давление и т.п.; например, обсадная труба в среднем и глубинном интервалах чрезвычайно мощного соляного слоя высокого давления (зоны высоких давлений) в бассейне Тарима должна обладать высокой стойкостью к смятию, в связи с чем к обсадным
- 20 трубам предъявляются значительно более жесткие требования по прочности. При этом, при повышении прочности соответственно возрастает твердость, вязкость, в частности – вязкость разрушения, постепенно снижается, а склонность материала к образованию поверхностных дефектов все больше возрастает, что ведет к развитию трещины обсадной трубы в условиях высокого
- 25 давления в скважине и, в результате, к разрушению трубы. Вязкость K_{IC} разрушения металлических материалов является важным показателем механических свойств материала с точки зрения механики трещинообразования. Для высокопрочных труб, работающих в сложных условиях окружающей среды, вязкость разрушения особенно важна. Поэтому, для обеспечения безопасности
- 30 при добыче и применении, к обсадным трубам для глубоких и сверхглубоких скважин предъявляют жесткие требования по прочности и вязкости разрушения.

- Например, в патентном документе Китая, опубликованном под номером CN101586450 25 ноября 2009г. и озаглавленном «Нефтепромысловая обсадная
- 35 труба высокой прочности и высокой вязкости и способ ее изготовления», раскрыта нефтепромысловая обсадная труба высокой прочности и высокой вязкости. Согласно раскрытому в указанном патентном документе техническому

решению, она содержит химические элементы в следующем составе: 0,22-0,4% углерода (C), 0,17-0,35% кремния (Si), 0,45-0,60% марганца (Mn), 0,95-1,10% хрома (Cr), 0,70-0,80% молибдена (Mo), 0,015-0,040% алюминия (Al), <0,20% никеля (Ni), <0,20% меди (Cu), 0,070-0,100% ванадия (V), >0,0015% кальция (Ca), <0,010% фосфора (P), <0,003% серы (S), остальное – железо. Следует отметить, что, согласно раскрытому в указанном патентном документе техническому решению, прочность сорта стали достигает 1100 МПа, однако удельный показатель вязкости разрушения не указан.

В качестве другого примера, согласно техническому решению, раскрытому в патентном документе Китая, опубликованном под номером CN106834970A 13 июня 2017г. и озаглавленном «Низколегированная сверхвысокопрочная сталь и способ изготовления из нее бесшовной стальной трубы», прочность сорта стали достигает 140 тысяч фунтов на квадратный дюйм, однако ее ударная вязкость и вязкость разрушения являются низкими, что не соответствует требованиям к вязкости обсадных труб в условиях глубокой скважины.

В качестве другого примера, в патентном документе Китая, опубликованном под номером CN101250671A 27 августа 2008г. и озаглавленном «Нефтепромысловая обсадная труба высокой прочности и высокой вязкости и способ ее изготовления», раскрыт сорт стали нефтепромысловой обсадной трубы высокой прочности и высокой вязкости, при этом, согласно раскрытому в указанном патентном документе техническому решению, ударная вязкость в поперечном направлении данного сорта стали составляет только 80 Дж, при этом ударная вязкость также является низкой.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Одна из целей настоящего изобретения состоит в создании стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубы. Стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба обладает сверхвысокой прочностью, сверхвысокой прочностью на смятие и высокой вязкостью разрушения, могущими соответствовать требованиям к прочности, стойкости к смятию и вязкости разрушения труб для глубоких и сверхглубоких нефте- и газопромысловых скважин.

Для достижения указанной цели, согласно настоящему изобретению,

предложена стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба, содержащая следующие химические элементы по массе:

- 0,08-0,15% углерода (C), 0,1-0,4% кремния (Si), 0,1-0,3% марганца (Mn), 1-1,5% хрома (Cr), 1-1,5% молибдена (Mo), 0,04-0,08% ниобия (Nb), 0,15-0,25% ванадия (V), 0,02-0,05% титана (Ti), 0,0015-0,005% бора (B), 0,01-0,05% алюминия (Al), 0,002-0,004% кальция (Ca), остальное – железо (Fe) и иные неизбежные примеси.

- Предлагаемая стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба имеет низкоуглеродистый состав, позволяющий снизить образование крупнозернистых карбидов $Cr_{23}C_6$ и Mo_2C , обеспечивающий возможность присутствия элементов Cr и Mo в виде твердого раствора и позволяющий задействовать эффект твердорастворного упрочнения, создаваемый Cr и Mo, и эффект дисперсионного упрочнения, создаваемый V, Nb и Ti, для достижения хороших показателей прочности и вязкости разрушения.

- Кроме того, предлагаемая стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба имеет низкомарганцовистый состав для улучшения показателей в части ликвации состава, предотвращения такого явления, как неравномерное распределение локальных структур и карбидов из-за возникновения ликвационных полос с высоким содержанием легирующих элементов на внутренней стенке трубы и, тем самым, повышения показателя вязкости разрушения материалов; при этом, для снижения доли мартенсита после закалки, образующегося из-за недостаточной прокаливаемости системы низкоуглеродистого состава, вводят B и Ti для повышения прокаливаемости и повышения структурной однородности материала с целью повышения вязкости разрушения и прочности.

- В частности, принципы расчета для химических элементов состоят в следующем:

- C: в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе углерод представляет собой карбидообразующий элемент, позволяющий повысить прочность стали. При процентном содержании C по массе ниже 0,08% прокаливаемость стали и, как следствие, прочность стали снижены, при этом, при процентном содержании C по массе выше 0,15% показатели ликвации в стали значительно хуже, а вязкость стали снижена. Для достижения высокой прочности и высокой вязкости нефтепромысловых обсадных труб, процентное

содержание С по массе в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе регулируют в пределах 0,08-0,15%. В некоторых предпочтительных вариантах осуществления процентное содержание С по массе также можно регулировать в пределах 0,1-0,15%.

5

Si: в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе кремний переходит в раствор в феррите, что может повысить предел текучести стали, однако вводимое количество Si не должно быть слишком большим, так как слишком высокое процентное содержание Si по массе ухудшит обрабатываемость и вязкость стали, а при процентном содержании Si по массе менее 0,1% нефтепромысловая обсадная труба станет более склонна к окислению. Исходя из этого, процентное содержание Si по массе в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе регулируют в пределах 0,10-0,40%.

15

Mn: в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе марганец является аустенитообразующим элементом, позволяющим повысить прокаливаемость стали. При процентном содержании Mn по массе менее 0,1%, прокаливаемость стали значительно снижена, следствием чего является сокращение доли мартенсита в стали после закалки и, в свою очередь, снижение прочности стали; при процентном содержании Mn по массе более 0,3%, структурная ликвация в стали значительно возрастает, что снижает вязкость разрушения стали. Исходя из этого, процентное содержание Mn по массе в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе регулируют в пределах 0,1-0,3%.

25

Cr: в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе хром является элементом, значительно повышающим прокаливаемость, а также образующим прочные выделения элементом. Образующиеся при отпуске выделения могут повышать прочность стали, однако, если процентное содержание Cr по массе выше 1,5%, высока вероятность образования крупнозернистых выделений $M_{23}C_6$ по границе зерен, что снижает вязкость. При этом, при процентном содержании Cr по массе ниже 1% прокаливаемость является недостаточной, а эффект закалки не может быть гарантирован. Исходя из этого, процентное содержание Cr по массе в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе регулируют в пределах 1-1,5%. В некоторых предпочтительных вариантах осуществления процентное содержание Cr по

35

массе также можно регулировать в пределах 1-1,4%.

Mo: в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе молибден повышает прочность и стабильность отпуски стали за счет карбидного и твердорастворного упрочнения. Так как, согласно изобретению, процентное содержание углерода по массе является относительно низким, ввод Mo в процентном содержании по массе свыше 1,5% затрудняет процесс образования молибденом дополнительных карбидных выделений с углеродом без значительного изменения прочности; при этом, при процентном содержании Mo по массе ниже 1% прочность предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубы не может соответствовать требуемому значению 140 тысяч фунтов на квадратный дюйм. Поэтому процентное содержание Mo по массе в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе регулируют в пределах 1-1,5%. В некоторых предпочтительных вариантах осуществления процентное содержание Mo по массе также можно регулировать в пределах 1-1,4%.

Nb: в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе ниобий является элементом для измельчения зерна и дисперсионного упрочнения стали, что может компенсировать снижение прочности из-за снижения содержания углерода. При процентном содержании Nb по массе менее 0,04%, его ввод не дает заметного эффекта, а при процентном содержании Nb по массе более 0,08% высока вероятность образования крупнозернистого карбонитрида (CN) Nb, что снижает вязкость стали. Исходя из этого, процентное содержание Nb по массе в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе регулируют в пределах 0,04-0,08%. В некоторых предпочтительных вариантах осуществления процентное содержание Nb по массе также можно регулировать в пределах 0,06-0,08%.

V: в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе ванадий представляет собой типичный элемент для дисперсионного упрочнения, могущий компенсировать снижение прочности из-за снижения содержания углерода. При процентном содержании V по массе менее 0,15%, трудно довести прочность предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубы до 140 тысяч фунтов на квадратный дюйм. При этом, при процентном содержании V по массе выше 0,25% высока вероятность образования крупнозернистого карбонитрида V, что снижает вязкость. Исходя из

этого, процентное содержание V по массе в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе регулируют в пределах 0,15-0,25%. В некоторых предпочтительных вариантах осуществления процентное содержание V по массе также можно регулировать в пределах 0,2-0,25%.

5 Ti: в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе титан является сильным карбонитридообразующим элементом, обеспечивающим возможность значительного измельчения аустенитного зерна в стали и могущим компенсировать снижение прочности из-за снижения содержания углерода. При процентном содержании Ti по массе более 0,05% высока вероятность
10 образования крупнозернистого TiN, что снижает вязкость материала. При этом, при процентном содержании Ti по массе менее 0,02%, Ti не может в достаточной степени вступать в реакцию с N с образованием TiN, и B в стали будет вступать в реакцию с N с образованием хрупкой фазы нитрида бора, что снижает вязкость материала. Исходя из этого, процентное содержание Ti по массе в
15 предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе регулируют в пределах 0,02-0,05%. В некоторых предпочтительных вариантах осуществления процентное содержание Ti по массе также можно регулировать в пределах 0,03-0,05%.

20 B: в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе бор также является элементом, могущим значительно повысить прокаливаемость стали. Поскольку, согласно настоящему изобретению, процентное содержание C по массе является относительно низким, ввода бора позволяет устранить недостаток, состоящий в низкой прокаливаемости из-за
25 снижения процентного содержания C по массе. При этом, при процентном содержании B по массе менее 0,0015%, эффект повышения прокаливаемости стали незначителен; при процентном содержании B по массе выше 0,005% высока вероятность образования хрупкой фазы нитрида бора, что снижает вязкость стали. Исходя из этого, процентное содержание B по массе в
30 предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе регулируют в пределах 0,0015-0,005%. В некоторых предпочтительных вариантах осуществления процентное содержание B по массе также можно регулировать в пределах 0,0015-0,004%.

35 Al: в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе алюминий является азотофиксирующим элементом с хорошими раскисляющими свойствами, обеспечивающим возможность измельчения зерен. Поэтому

процентное содержание Al по массе в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе регулируют в пределах 0,01-0,05%.

Ca: в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе кальций обеспечивает возможность рафинирования жидкой стали, способствует сфероидизации сульфида марганца (MnS) и повышает вязкость разрушения, однако при его чрезмерном содержании высока вероятность образования крупных неметаллических включений. Поэтому процентное содержание Ca по массе в толстостенной высокопрочной высоковязкой нефтепромысловой обсадной трубе регулируют в пределах 0,002-0,004%.

Кроме того, в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе, процентное содержание по массе каждого из ее химических элементов также соответствует по меньшей мере одному из следующих значений:

0,1-0,15% углерода (C);
1-1,4% хрома (Cr);
1-1,4% молибдена (Mo);
0,06-0,08% ниобия (Nb);
0,2-0,25% ванадия (V);
0,03-0,05% титана (Ti); и
0,0015-0,004% бора (B).

Кроме того, в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе, в указанных иных неизбежных примесях: $S \leq 0,003\%$.

Кроме того, в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе, процентное содержание по массе элементов Ca и S удовлетворяет условию $Ca/S \geq 2$.

Кроме того, в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе, в указанных иных неизбежных примесях: $N \leq 0,008\%$ и/или $P \leq 0,015\%$.

Кроме того, микроструктура предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубы представляет собой отпущенный сорбит. Отпущенный сорбит формируют путем закалки обсадной трубы с образованием

мартенсита и последующего отпуска с образованием, в итоге, отпущенного сорбита.

Кроме того, предлагаемая стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба также может содержать по меньшей мере один из следующих химических элементов: $0 < \text{Ni} \leq 0,2\%$, $0 < \text{Cu} \leq 0,2\%$ и $0 < \text{Re} \leq 0,1\%$ для дополнительного улучшения эксплуатационных характеристик нефтепромысловой обсадной трубы.

Кроме того, в предлагаемой стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубе, стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба имеет по меньшей мере одну или все из следующих эксплуатационных характеристик: предел текучести, составляющий 965-1173 МПа, прочность при растяжении не ниже 1034 МПа, относительное удлинение не менее 20%, значение K_{IC} вязкости разрушения не ниже $150 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, ударная вязкость по Шарпи в поперечном направлении при температуре 0°C не ниже 120 Дж, температура вязко-хрупкого перехода не выше -60°C и стойкость к смятию, превышающая значение по стандарту Американского нефтяного института (API, англ. American Petroleum Institute) не менее, чем на 25%. В частности, предел текучести составляет 965-1173 МПа, прочность при растяжении составляет 1034-1241 МПа, относительное удлинение составляет 20-30%, значение K_{IC} вязкости разрушения составляет $150-260 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, ударная вязкость по Шарпи в поперечном направлении при температуре 0°C составляет 120-150 Дж, температура вязко-хрупкого перехода составляет от -60°C до -80°C , а стойкость к смятию превышает значение по стандарту API на 25-65%.

С учетом вышесказанного, другая цель настоящего изобретения состоит в создании способа изготовления раскрытой выше стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубы, обеспечивающего возможность получения нефтепромысловой обсадной трубы со сверхвысокой прочностью, сверхвысокой стойкостью к смятию и высокой вязкостью разрушения для обеспечения соответствия требованиям к прочности, стойкости к смятию и вязкости разрушения труб для глубоких и сверхглубоких нефте- и газопромысловых скважин.

Для достижения вышеуказанной цели, в настоящем изобретении предложен способ изготовления раскрытой выше стойкой к смятию

нефтепромысловой обсадной трубы, включающий в себя этапы, на которых:

(1) осуществляют выплавку и непрерывную разливку;

(2) осуществляют перфорацию;

(3) осуществляют прокатку, причем температуру чистовой прокатки регулируют в пределах 900-950°C, и осуществляют редуцирование с натяжением при температуре 850-900°C после чистовой прокатки;

(4) осуществляют регулируемое охлаждение: водяное охлаждение в потоке со скоростью 15-25°C/с до 600-650°C с последующим воздушным охлаждением до комнатной температуры;

(5) осуществляют закалку и отпуск, причем закалку осуществляют при температуре 900-950°C в течение 30-60 минут; а отпуск осуществляют при температуре 650-700°C в течение 50-80 минут; и

(6) осуществляют горячую калибровку и горячую правку.

Согласно предлагаемому способу изготовления, с учетом того, что предлагаемый сорт стали представляет собой низкоуглеродистый сорт стали с низкой стойкостью к деформации при высоких температурах, температуру чистовой прокатки регулируют в пределах 900-950°C, а температуру редуцирования с натяжением регулируют в пределах 850-900°C на этапе (3) для облегчения измельчения зерна с целью повышения вязкости разрушения.

Кроме того, после этапа (3) выполняют этап (4), на котором охлаждают наружную поверхность обсадной трубы, регулируя скорость охлаждения в пределах 15-25°C/с и осуществляют охлаждение до 600-650°C для обеспечения возможности повышения прочности и вязкости разрушения материала. Путем обширных исследований, авторы изобретения установили, что, поскольку процесс прокатки не включает в себя известный процесс регулируемого охлаждения, обсадную трубу содержат в состоянии высокой температуры в ходе прокатки, вследствие чего микроструктура после охлаждения от высокой до низкой температуры в ходе процесса прокатки представляет собой одну из следующих структур или смешанную структуру на основе следующих структур: феррито-перлитная структура, бейнит и видманштеттова структура, при этом аустенитные зерна относительно крупные, следствием чего являются пониженная прочность и ударная вязкость материала. При этом размер зерна остается крупным и после прохождения материалом последующего процесса подготовительной термообработки, следствием чего являются пониженные вязкость и пластичность. Техническое решение по настоящему изобретению

включает в себя процесс регулируемого охлаждения после прокатки, повышающий степень переохлаждения материала и препятствующий образованию крупнозернистых феррито-перлитной структуры, верхнего бейнита и видманштеттовой структуры. Кроме того, осуществляют охлаждение со скоростью охлаждения 15-25°C/с до 600-650°C, в результате чего происходит превращение структуры материала в мелкозернистую бейнитную структуру, измельчение зерен и повышение однородности состава материала, что, в свою очередь, значительно повышает прочность и вязкость материала, а также может привести к повышению стойкости к смятию.

Кроме того, согласно предлагаемому способу изготовления, на этапе (2) осуществляют выдержку круглой заготовки при температуре 1260-1290°C с последующей перфорацией при температуре 1180-1240°C, тем самым обеспечивая хорошую пластичность обсадной трубы при высоких температурах для снижения склонности к образованию дефектов.

Кроме того, согласно предлагаемому способу изготовления, на этапе (1) непрерывную разливку осуществляют, регулируя скорость разливки в пределах 1,6-2,0 м/мин для улучшения показателей в части ликвации компонентов в трубной заготовке.

Кроме того, согласно предлагаемому способу изготовления, на этапе (6) горячую калибровку осуществляют при температуре 500-550°C для усиления эффекта выпрямления и улучшения показателей в части прямизны обсадной трубы.

Преимущества перед прототипами и положительные эффекты стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубы и способа ее изготовления по настоящему изобретению состоят в следующем:

Предлагаемая стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба обладает сверхвысокой прочностью и высокой вязкостью разрушения и имеет по меньшей мере одну или все из следующих эксплуатационных характеристик: предел текучести, составляющий 965-1173 МПа, прочность при растяжении не ниже 1034 МПа, относительное удлинение не менее 20%, значение K_{IC} вязкости разрушения не ниже 150 МПа·м^{1/2}, ударная вязкость по Шарпи в поперечном направлении при температуре 0°C не ниже 120 Дж, температура вязко-хрупкого перехода не выше -60°C и стойкость к смятию, превышающая значение по

стандарту API не менее, чем на 25%. В частности, предел текучести составляет 965-1173 МПа, прочность при растяжении составляет 1034-1241 МПа, относительное удлинение составляет 20-30%, значение K_{IC} вязкости разрушения составляет 150-260 МПа·м^{1/2}, ударная вязкость по Шарпи в поперечном направлении при температуре 0°C составляет 120-150 Дж, температура вязко-хрупкого перехода составляет от -60°C до -80°C, а стойкость к смятию превышает значение по стандарту API на 25-65%.

Помимо вышеуказанных преимуществ и положительных эффектов, предлагаемый способ изготовления обеспечивает преимущества, состоящие в том, что он прост в применении, может быть легко реализован в крупномасштабном производстве и обеспечивает значительные экономические выгоды.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Далее стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба и способ ее изготовления согласно изобретению будут подробнее разъяснены и раскрыты на примерах частных вариантов осуществления. При этом разъяснение и раскрытие не устанавливают каких-либо необоснованных ограничений в отношении технического решения по изобретению.

Варианты осуществления 1-5 и Сравнительные примеры 1-4

Изготовление стойких к смятию нефтепромысловых обсадных труб в Вариантах осуществления 1-5 и обсадных труб для сравнения в Сравнительных примерах 1-4 включает в себя этапы, на которых:

(1) осуществляют выплавку и непрерывную разливку согласно перечню компонентов в Таблице 1, причем непрерывную разливку осуществляют, регулируя скорость разливки в пределах 1,6-2,0 м/мин.

(2) Осуществляют перфорацию, причем круглую заготовку, полученную на этапе (1), выдерживают при температуре 1260-1290°C с последующей перфорацией при температуре 1180-1240°C.

(3) Осуществляют прокатку, причем температуру чистовой прокатки регулируют в пределах 900-950°C, и осуществляют редуцирование с

натяжением при температуре 850-900°C после чистовой прокатки.

(4) Осуществляют регулируемое охлаждение: водяное охлаждение в потоке осуществляют при температуре 15-25°C/с до 600-650°C с последующим воздушным охлаждением до комнатной температуры.

(5) Осуществляют закалку и отпуск, причем закалку осуществляют при температуре 900-950°C в течение 30-60 минут; а отпуск осуществляют при температуре 650-700°C в течение 50-80 минут.

(6) осуществляют горячую калибровку и горячую правку, причем горячую калибровку осуществляют при температуре 500-550°C.

В Таблице 1 указано содержание в процентах по массе химических элементов в стойких к смятию нефтепромысловых обсадных труб в Вариантах осуществления 1-5 и в обсадных трубах для сравнения в Сравнительных примерах 1-4.

Таблица 1 (% масс., остальное – Fe и иные неизбежные примеси, кроме P, S и N)

№ п/п	C	Si	Mn	Cr	Mo	Nb	Ti	B	Al	N	V	Ca	S	Ca/S
Вариант осуществления 1	0,08	0,2	0,1	1	1	0,04	0,02	0,0015	0,01	0,004	0,15	0,002	0,0007	2,9
Вариант осуществления 2	0,11	0,1	0,2	1,1	1,1	0,05	0,025	0,002	0,04	0,005	0,18	0,003	0,001	3,0
Вариант осуществления 3	0,13	0,3	0,3	1,2	1,2	0,06	0,04	0,003	0,05	0,006	0,20	0,004	0,0011	3,6
Вариант осуществления 4	0,15	0,4	0,2	1,4	1,4	0,07	0,04	0,004	0,03	0,007	0,22	0,0025	0,0008	3,1
Вариант осуществления 5	0,13	0,25	0,1	1,5	1,5	0,08	0,05	0,005	0,02	0,008	0,25	0,0035	0,0009	3,9

Сравнительный пример 1	<u>0,25</u>	0,26	0,1	<u>0,5</u>	<u>0,6</u>	0,04	0,02	0,0015	0,01	0,004	0,15	0,002	0,0007	2,9
Сравнительный пример 2	0,15	0,33	0,2	1,1	1,1	0,05	-	-	0,04	0,005	0,18	0,003	0,001	3,0
Сравнительный пример 3	0,13	0,3	<u>1</u>	1,4	1,4	<u>0,02</u>	0,04	0,004	0,03	0,007	<u>0,10</u>	0,0025	0,0008	3,1
Сравнительный пример 4	0,13	0,3	0,1	1,5	1,5	0,08	0,05	0,005	0,02	0,008	0,25	0,0005	0,0010	<u>0,5</u>

В Таблице 2 указаны конкретные параметры технологического процесса для стойких к смятию нефтепромысловых обсадных труб в Вариантах осуществления 1-5 и обсадных труб для сравнения в Сравнительных примерах 1-4.

Таблица 2

	Непрерывная разливка	Перфорация		Прокатка		Регулируемое охлаждение		Закалка + отпуск				Горячая калибровка и горячая правка
	Скорость непрерывной разливки (м/мин)	Температура выдержки в печи (°C)	Температура перфорации (°C)	Температура чистой прокатки (°C)	Температуру редуцирования с натяжением (°C)	Скорость охлаждения (°C/с)	Температура конечного охлаждения (°C)	Температура закалки (°C)	Продолжительность сохранения тепла (минут)	Температура отпуска (°C)	Продолжительность сохранения тепла (минут)	Температура горячей калибровки (°C)
Вариант осуществлен ия 1	2	12 60	118 0	90 0	88 0	15	600	90 0	50	65 0	50	50 0
Вариант осуществлен ия 2	1,8	12 70	119 0	91 0	85 0	18	610	91 0	30	66 0	60	51 0

Вариант осуществления 3	1,6	1280	1210	930	870	20	620	920	60	670	60	520
Вариант осуществления 4	1,8	1290	1190	920	900	22	630	940	60	680	80	530
Вариант осуществления 5	1,8	1270	1240	950	890	25	650	950	40	700	70	550
Сравнительный пример 1	2	1260	1180	900	880	15	600	900	50	650	50	500
Сравнительный пример 2	1,8	1270	1190	910	850	18	610	910	30	660	60	510
Сравнительный пример 3	1,8	1290	1190	920	900	22	630	940	60	680	80	530
Сравнительный пример 4	1,8	1270	1240	950	890	25	650	950	40	700	70	550

- В Таблице 3 указаны результаты испытаний стойких к смятию нефтепромысловых обсадных труб в Вариантах осуществления 1-5 и обсадных труб для сравнения в Сравнительных примерах 1-4 по стандартам испытаний
- 5 Американского общества по испытанию материалов (ASTM, англ. American Society for Testing and Materials) ASTM A370, ASTM E23 и стандарту Международной организации по стандартизации (ISO, англ. International Organization for Standardization) ISO/TR10400,

Таблица 3

	Предел текучести (МПа)	Прочность при растяжении (МПа)	Относительное удлинение (%)	Вязкость разрушения K_{IS} (МПа·м ^{1/2})	Ударная вязкость в поперечном направлении, 0°С (J)	Температура вязко-хрупкого перехода (°С)	Стойкость к смятию (Ф244,48 × 11,99 mm)	Процент превышения значений по стандарту API	Микроструктура
Вариант осуществления 1	1030	1090	25	252	135	-70	57	40%	Отпущенный сорбит
Вариант осуществления 2	1050	1110	25	243	130	-75	59	45%	Отпущенный сорбит
Вариант осуществления 3	1090	1140	24	225	125	-70	61	50%	Отпущенный сорбит

Вариант осуществления 4	1120	1190	24	220	128	-65	62	53%	Отпущенный сорбит
Вариант осуществления 5	1150	1210	22	205	126	-70	64	58%	Отпущенный сорбит
Сравнительный пример 1	<u>930</u>	<u>1010</u>	26	180	<u>102</u>	-60	47	<u>16%</u>	Отпущенный сорбит
Сравнительный пример 2	990	1060	25	<u>140</u>	<u>105</u>	-65	49	<u>21%</u>	Отпущенный сорбит
Сравнительный пример 3	1000	1080	22	<u>125</u>	<u>98</u>	<u>-50</u>	50	<u>23%</u>	Отпущенный сорбит
Сравнительный пример 4	1050	1110	21	<u>130</u>	<u>115</u>	-60	52	28%	Отпущенный сорбит

Из Таблицы 3 видно, что стойкие к смятию нефтепромысловые обсадные трубы в вариантах осуществления настоящего изобретения обладают всеми следующими свойствами: предел текучести, составляющий 1030-1150 МПа, прочность при растяжении не ниже 1090 МПа, относительное удлинение не менее 22%, значение K_{IC} вязкости разрушения не ниже 205 МПа·м^{1/2}, ударная вязкость по Шарпи в поперечном направлении при температуре 0°C не ниже 126 Дж, температура вязко-хрупкого перехода не выше -60°C и стойкость к смятию, превышающая значение по стандарту API не менее, чем на 40%, что наглядно подтверждает пригодность стойких к смятию нефтепромысловых обсадных труб в вариантах осуществления настоящего изобретения для применения в

качестве нефтепромысловых труб для разработки глубоких и сверхглубоких скважин.

При этом, согласно сравнительным примерам, содержание С, Cr и Мо в
5 сравнительном примере 1 выходит за пределы, установленные согласно
настоящему изобретению, В и Ti не вводят в сравнительном примере 2, а
содержание Mn, V и Nb в сравнительном примере 3 выходит за пределы,
установленные согласно настоящему изобретению, в результате чего по
10 меньшей мере одно из механических свойств обсадных труб для сравнения в
Сравнительных примерах 1-3 не соответствует критериям высокой прочности,
высокой стойкости к смятию и высокой вязкости разрушения
нефтепромысловых обсадных труб, а их эксплуатационные характеристики в
целом уступают эксплуатационным характеристикам стойкой к смятию
15 нефтепромысловой обсадной трубы в вариантах осуществления изобретения.
Значение Ca/S в Сравнительном примере 4 не соответствует требованию о том,
что процентное содержание элементов Ca и S по массе должно удовлетворять
условию $Ca/S \geq 2$, при этом, несмотря на то, что эксплуатационные
характеристики в Сравнительном примере 4 лучше, чем в Сравнительных
20 примерах 1-3, эксплуатационные характеристики в целом уступают
эксплуатационным характеристикам стойкой к смятию нефтепромысловой
обсадной трубы в вариантах осуществления изобретения.

Таким образом, раскрытая стойкая к смятию нефтепромысловая
обсадная труба согласно изобретению обладает сверхвысокой прочностью и
25 высокой вязкостью разрушения и имеет все из следующих эксплуатационных
характеристик: предел текучести, составляющий 965-1173 МПа, прочность при
растяжении не ниже 1034 МПа, относительное удлинение не менее 20%,
значение K_{IC} вязкости разрушения не ниже 150 МПа·м^{1/2}, ударная вязкость по
Шарпи в поперечном направлении при температуре 0°C не ниже 120 Дж,
30 температура вязко-хрупкого перехода не выше -60°C и стойкость к смятию,
превышающая значение по стандарту API не менее, чем на 25%.

Помимо вышеуказанных преимуществ и положительных эффектов,
предлагаемый способ изготовления обеспечивает преимущества, состоящие в
35 том, что он прост в применении, может быть легко реализован в
крупномасштабном производстве и обеспечивает значительные экономические
выгоды.

Следует отметить, что ограничительная часть формулы изобретения, определяющей объем охраны изобретения, не ограничена вариантами осуществления, указанными в заявке, при этом все известные решения, не
5 противоречащие решению по настоящему изобретению, в том числе, помимо прочего, известные патентные документы, известные общедоступные публикации, известные случаи публичного использования или нечто подобное могут быть включены в объем охраны настоящего изобретения.

10 Кроме того, вид совокупности технических признаков изобретения не ограничен указанным в формуле изобретения или в частных вариантах осуществления, при этом все технические признаки, указанные в настоящем изобретении, можно любым образом комбинировать или интегрировать при условии, что между ними не возникнет какое-либо противоречие.

15 Также следует отметить, что вышеперечисленные варианты осуществления являются не более чем частными вариантами осуществления изобретения. Очевидно, что изобретение не ограничено раскрытыми выше вариантами осуществления, при этом любые изменения или доработки, аналогичные изменениям и доработкам, отличающим указанные варианты друг
20 от друга, непосредственно полученные специалистами в данной области техники или без труда пришедшие на ум специалистам в данной области техники, должны быть включены в объем охраны изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба, отличающаяся тем, что содержит химические элементы в следующем составе по массе:

- 5 0,08-0,15% углерода (C), 0,1-0,4% кремния (Si), 0,1-0,3% марганца (Mn), 1-1,5% хрома (Cr), 1-1,5% молибдена (Mo), 0,04-0,08% ниобия (Nb), 0,15-0,25% ванадия (V), 0,02-0,05% титана (Ti), 0,0015-0,005% бора (B), 0,01-0,05% алюминия (Al), 0,002-0,004% кальция (Ca), остальное – железо (Fe) и иные неизбежные примеси.

10

2. Стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба по п. 1, отличающаяся тем, что процентное содержание по массе каждого из ее химических элементов также соответствует по меньшей мере одному из следующих значений:

0,1-0,15% углерода (C);

- 15 1-1,4% хрома (Cr);

1-1,4% молибдена (Mo);

0,06-0,08% ниобия (Nb);

0,2-0,25% ванадия (V);

0,03-0,05% титана (Ti); и

- 20 0,0015-0,004% бора (B).

3. Стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба по п. 1, отличающаяся тем, что в указанных иных неизбежных примесях: $S \leq 0,003\%$.

- 25 4. Стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба по п. 3, отличающаяся тем, что процентное содержание по массе элементов Ca и S удовлетворяет условию $Ca/S \geq 2$.

5. Стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба по п. 1, отличающаяся
30 тем, что в указанных иных неизбежных примесях: $N \leq 0,008\%$ и/или $P \leq 0,015\%$.

6. Стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба по п. 1, отличающаяся тем, что она содержит по меньшей мере один из следующих химических элементов: $0 < Ni \leq 0,2\%$, $0 < Cu \leq 0,2\%$ и $0 < Re \leq 0,1\%$.

35

7. Стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба по п. 1, отличающаяся тем, что микроструктура стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубы

представляет собой отпущенный сорбит.

8. Стойкая к смятию нефтепромысловая обсадная труба по любому из п.п. 1-7, отличающаяся тем, что она имеет по меньшей мере одну из следующих эксплуатационных характеристик: предел текучести, составляющий 965-1173 МПа, прочность при растяжении не ниже 1034 МПа, относительное удлинение не менее 20%, значение K_{IC} вязкости разрушения не ниже $150 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, ударная вязкость по Шарпи в поперечном направлении при температуре 0°C не ниже 120 Дж, температура вязко-хрупкого перехода не выше -60°C , и стойкость к смятию, превышающая значение по стандарту Американского нефтяного института (API) не менее, чем на 25%.

9. Способ изготовления стойкой к смятию нефтепромысловой обсадной трубы по любому из п.п. 1-8, включающий в себя этапы, на которых:

- (1) осуществляют выплавку и непрерывную разливку;
- (2) осуществляют перфорацию;
- (3) осуществляют прокатку, причем температуру чистовой прокатки регулируют в пределах $900-950^\circ\text{C}$, и осуществляют редуцирование с натяжением при температуре $850-900^\circ\text{C}$ после чистовой прокатки;
- (4) осуществляют регулируемое охлаждение: водяное охлаждение в потоке со скоростью $15-25^\circ\text{C}/\text{с}$ до $600-650^\circ\text{C}$ с последующим воздушным охлаждением до комнатной температуры;
- (5) осуществляют закалку и отпуск, причем закалку осуществляют при температуре $900-950^\circ\text{C}$ в течение 30-60 минут; а отпуск осуществляют при температуре $650-700^\circ\text{C}$ в течение 50-80 минут; и
- (6) осуществляют горячую калибровку и горячую правку.

10. Способ изготовления по п. 9, отличающийся тем, что на этапе (2) осуществляют выдержку круглой заготовки при температуре $1260-1290^\circ\text{C}$ с последующей перфорацией при температуре $1180-1240^\circ\text{C}$.

11. Способ изготовления по п. 9, отличающийся тем, что на этапе (1) непрерывную разливку осуществляют, регулируя скорость разливки в пределах $1,6-2,0 \text{ м/мин}$.

12. Способ изготовления по п. 9, отличающийся тем, что на этапе (6) горячую калибровку осуществляют при температуре $500-550^\circ\text{C}$.