

República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) **PI0806744-9 A2**

(22) Data de Depósito: 20/03/2008
(43) Data da Publicação: 13/09/2011
(RPI 2123)



(51) *Int.Cl.:*
C09K 8/80
C04B 35/64

(54) Título: MATERIAL PARTICULADO PARA ESCORAMENTO DE FRATURAS COM FORMA ESFÉRICA OU ELÍPTICA

(30) Prioridade Unionista: 22/03/2007 RU 2007110505

(73) Titular(es): Prad Research And Development Limited

(72) Inventor(es): Elena Mikhlovna Pershikova, Evgeny Borisovich Barmatov, Jonathan Abbot, Konstantin Mikhlovich Lyapunov

(74) Procurador(es): Walter de Almeida Martins

(86) Pedido Internacional: PCT RU2008000165 de 20/03/2008

(87) Publicação Internacional: WO 2008/115097 de 25/09/2008

(57) Resumo: MATERIAL PARTICULADO PARA ESCORAMENTO DE FRATURAS COM FORMA ESFÉRICA OU ELÍPTICA. A invenção está relacionada com a indústria de petróleo e gás e pode ser usada para a melhoria da produção de poços em campos de petróleo na medida que ela impede o fechamento da fratura através do bombeio de grânulos de material para escoramento de fraturas ("proppant") durante o fraturamento hidráulico das formações produtoras de petróleo. Uma maior estimulação de um reservatório através da utilização do fraturamento hidráulico é provida com o material para escoramento de fraturas como um particulado com forma esférica ou elíptica, feito de material cerâmico, polimérico, metálico, ou vidro e possuindo rugosidade maior que a do material para escoramento de fraturas usual, em que a rugosidade da superfície é não uniforme e descrita por dois critérios A e B, variando nos intervalos: A - 0,0085 a 0,85; B = 0,001 a 1,0. O método de fabricação do material para escoramento de fraturas compreende a preparação da matéria prima, mistura, granulação, secagem, queima, em que um estágio adicional de criação de rugosidade superficial é acrescentado no estágio de granulação e/ou estágio de queima.

MATERIAL PARTICULADO PARA ESCORAMENTO DE FRATURAS COM FORMA
ESFÉRICA OU ELÍPTICA

Essa invenção está relacionada com a indústria de
petróleo e gás e pode ser usada para a melhoria da produção
5 de poços em campos de petróleo na medida que ela impede o
fechamento da fratura através do bombeio de grânulos de
material para escoramento de fraturas ("proppant") durante
o fraturamento hidráulico das formações produtoras de
petróleo.

10 Atualmente, o fraturamento hidráulico é o mais
avançado método de estimulação para a produção de
hidrocarbonetos. A essência do método de fraturamento
hidráulico é a injeção de um fluido viscoso para dentro do
reservatório portador de óleo e portador de gás sob alta
15 pressão, que resulta no desenvolvimento da abertura das
fraturas para o fluxo de fluido. Para manter as fraturas
abertas, grânulos esféricos de material para escoramento de
fraturas são aplicados pelo fluido portador para dentro da
fratura e o material para escoramento de fraturas preenche
20 a fratura produzindo um resistente recheio de material para
escoramento de fraturas ainda permeável para o fluido da
formação. As partículas do material para escoramento de
fraturas são produzidas fortes o suficiente para suportar
uma alta pressão da formação e resistir ao impacto de um
25 meio corrosivo (umidade, gases ácidos, água salinizada) em

altas temperaturas. Areia de quartzo, bauxita, argilas de caulim, alumina, bem como diferentes tipos de sílica-alumina do suprimento são usados como matérias primas para a produção do material para escoramento de fraturas.

5 A esfericidade e o arredondamento das partículas, bem como a uniformidade de suas dimensões e formas são propriedades importantes do material para escoramento de fraturas. As referidas propriedades são cruciais para a permeabilidade dos recheios de material para escoramento de
10 fraturas nas fraturas e, por conseqüência, para a capacidade dos fluido hidrocarbonetos a fluir desde a superfície da fratura através dos espaços no recheio de material para escoramento de fraturas.

 Atualmente, existe um número de métodos conhecidos
15 para a redução considerável no refluxo dos particulados de material para escoramento de fraturas ou outros agentes para escoramento de fraturas para fora da fratura.

 A abordagem mais comumente usada está baseada na aplicação de material revestido com resina curável, para o
20 escoramento de fraturas (Patente norte americana U.S. No. 5.218.038), o qual é bombeado para dentro da fratura ao final do tratamento. Todavia, existe um número de restrições consideráveis acerca da aplicação desse tipo de material para escoramento de fraturas; essas restrições são
25 causadas pelas reações químicas paralelas entre o revestimento resinoso e o fluido de fraturamento. Por outro

lado, essa interação resulta na degradação e desintegração parcial do revestimento resinoso, reduzindo a força de aderência entre as partículas do material para escoramento de fraturas e, conseqüentemente, a resistência do recheio de material para escoramento de fraturas. Por outro lado, a interação dos componentes do revestimento resinoso e o fluido de fraturamento leva a incontroladas alterações na reologia do fluido. Isso também reduz a eficiência do método de fraturamento hidráulico. Os fatores acima mencionados, e as cargas cíclicas durante as operações de completação e de fechamento do poço (ou longos períodos de fechamento) podem danificar a resistência do recheio de material para escoramento de fraturas.

Além disso, existe um método conhecido (Patente norte americana U.S. No. 6,059,034) para a mistura de um material sólido para escoramento de fraturas com um material deformável consistindo de partículas microesferas. As partículas deformáveis são produzidas de um material polimérico. As formas das partículas poliméricas deformáveis podem ser diferentes (oval, tipo cunha, cúbica, bastões, cilíndricas ou cônicas), mas com a relação de aspecto máxima de comprimento relativamente à base sendo preferivelmente menor que ou igual a 5. Microesferas plásticas esféricas ou partículas compósitas com núcleo sólido e revestimento deformável podem também servir como partículas deformáveis. Usualmente, o volume do núcleo não

deformável é de cerca de 50 a 90%v do volume total da partícula. O núcleo sólido pode ser quartzo, cristobalita, grafite, gesso ou talco.

Em uma outra modalidade (Patente norte americana
5 U.S. No. 6,330,916), o núcleo do material para escoramento de fraturas consiste de materiais deformáveis e pode incluir materiais triturados ou esmagados, cascas de nozes, cascas de sementes, caroços de frutas e madeira processada.

Para firmar o agente material para escoramento de
10 fraturas e restringir sua remoção pode ser usada mistura de material para escoramento de fraturas com materiais poliméricos adesivos (Patente norte americana U.S. No. 5.582.249). As composições adesivas fazem contato mecânico com as partículas do agente material para escoramento de
15 fraturas, envolvendo ao redor e cobrindo-as com uma camada aderente. Isso leva a aderência entre as partículas, e também com areia ou fragmentos esmagados do agente material para escoramento de fraturas, que leva a uma prevenção significativa ou total do refluxo das partículas sólidas.
20 Os compostos aderentes podem permanecer pegajosos por um prolongado período de tempo ainda que em altas temperaturas evitando reticulação ou cura.

O material aderente pode ser combinado com outras substâncias química regularmente aplicadas no tratamento
25 por fraturamento, isto é, inibidores, bactericidas, quebradores de gel polimérico, e também inibidores de

formação de cera e de corrosão (Patente norte americana U.S. No. 6.209.643).

Existe um método conhecido (Patente norte americana U.S. No. 7.032.667) para o escoramento de uma fratura
5 mediante utilizar agentes aderentes e materiais revestidos com resina para escoramento de fraturas. A Patente norte americana U.S. No. 6.742.590 orienta o método para o controle do refluxo do material para escoramento de fraturas mediante aplicação de particulado revestido com
10 material aderente misturado com particulado deformável (o último já é uma ferramenta eficaz para o controle do refluxo).

Os métodos conhecidos para controle do refluxo do material para escoramento de fraturas são custosos em sua
15 fabricação, e difíceis de serem produzidos. Além disso, o uso dos materiais mencionados acima para o controle do refluxo do material para escoramento de fraturas, incluindo os agentes materiais para escoramento de fraturas com revestimento resinoso curável, leva a uma significativa
20 redução na permeabilidade do recheio de materiais para escoramento de fraturas.

A presente invenção soluciona o problema técnico formulado mediante oferecer o método de produção de material para escoramento de fraturas de superfície rugosa
25 esférica ou elíptica e o procedimento de aplicação do material para escoramento de fraturas para o controle do

refluxo do material para escoramento de fraturas.

O resultado técnico da presente invenção é uma maior estimulação de um reservatório através do uso do fraturamento hidráulico.

5 Esse aprimoramento no hidro-fraturamento é conseguido mediante o bombeio de material para escoramento de fraturas com superfície rugosa. O particulado é esférico ou elíptico e feito de material cerâmico, polímeros, metal, ou vidro, com os critérios A e B de rugosidade de
10 superfície nas faixas: A = 0,0085-0,85; B = 0,001-1,0.

Os critérios da rugosidade superficial das partículas são dados pelas fórmulas seguintes:

$$A = \frac{1}{D\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$B = \frac{h}{D} \quad (2)$$

15 onde n é o número médio de irregularidades por 1 mm² de superfície do material para escoramento de fraturas, h é a altura média das irregularidades, e D é o diâmetro de uma partícula do material para escoramento de fraturas no caso de esferóides ou o comprimento do eixo mais longo para
20 grânulos elípticos, lamelares, cilíndricos, tubulares ou outros tipos de grânulos de forma não esférica.

O parâmetro A descreve a relação da distância média entre as irregularidades (na forma de picos e cavidades - ver a Figura) relativamente ao diâmetro dos grânulos do

material para escoramento de fraturas no caso de esferóides ou relativamente ao comprimento do eixo maior de grânulos elípticos e outros grânulos com formas não esféricas.

O parâmetro B proporciona a relação da altura média (ou profundidade) das irregularidades de superfície relativamente ao diâmetro dos grânulos do material para escoramento de fraturas no caso de esferóides ou relativamente ao comprimento do eixo maior de grânulos elípticos e outros grânulos com formas não esféricas.

Além disso, se pode usar tanto combinações de materiais cerâmicos e poliméricos, e a introdução de componentes de vidro e metálicos.

A Figura 1 mostra o esquema de uma seção 1 de um grânulo do material para escoramento de fraturas, possuindo as irregularidades por sobre a superfície na forma de picos 2-6 e cavidades 7. Os grânulos do material para escoramento de fraturas deve ter picos dos seguintes tipos: de forma esférica, elíptica ou em forma de gota 2, piramidal ou cônico 3, retangular ou trapezoidal 4, em forma parafuso, espinho ou ripa 5, em forma de domo 6, e combinações desses mencionados.

A distribuição dos picos e cavidades sobre a superfície pode ser aleatória ou regular.

As irregularidades 2-6 sobre a superfície do material para escoramento de fraturas possuem a mesma dureza como a do material para escoramento de fraturas 1 ou

têm dureza menor/maior.

A forma do grânulo do material para escoramento de fraturas descrito na invenção proporciona uma alta resistência ao refluxo do material para escoramento de fraturas durante a completação do poço, tratamento de limpeza, lavagem, tratamento ácido e outros tratamentos, bem como durante o período de produção do poço. A eficiência do método é explicada pelo desenvolvimento de ligações mecânicas dentro do recheio de material para escoramento de fraturas devido ao alto atrito entre os grânulos e um encaixe parcial dos picos sobre a superfície do material para escoramento de fraturas relativamente às cavidades sobre a superfície de um outro grânulo do material para escoramento de fraturas; isto é também melhorado pela compactação dos finos do material para escoramento de fraturas sobre os sítios de contato dos grânulos do material para escoramento de fraturas. Um caso especial de interação é a penetração parcial dos picos pronunciados (3, 5, 6) para dentro da superfície dos grânulos adjacentes dos materiais para escoramento de fraturas.

Mesmo com a tecnologia do uso do sugerido material para escoramento de fraturas seja padrão, o uso desse tipo de material para escoramento de fraturas com superfície rugosa aumenta enormemente a resistência ao refluxo do material para escoramento de fraturas, mantendo ao mesmo

tempo uma alta permeabilidade do recheio de material para escoramento de fraturas.

O método proposto permite a utilização de um material para escoramento de fraturas no transcurso de todo o tratamento por fraturamento ou somente na fase final do estágio de escoramento de fraturas.

A tecnologia padrão de material para escoramento de fraturas inclui a preparação da matéria prima, sua mistura, granulação, secagem e queima. A superfície extra-rugosa dos grânulos do material para escoramento de fraturas, fabricado com o método sugerido, é criada durante o estágio de granulação (nucleação ou crescimento do grânulo) e/ou durante a queima do material para escoramento de fraturas.

Durante a fabricação do material para escoramento de fraturas com a tecnologia oferecida, a escolha da matéria prima é a mesma como para a tecnologia convencional. As matérias primas primárias são diversas bauxitas, argilas, caulim, aditivos sinterizados, componentes estruturais, e combinações desses, os componentes de matérias primas são misturados pela fórmula, em seguida granulados, secados, queimados e classificados. Todavia, o presente desenvolvimento da rugosidade e irregularidades é um processo controlável nos estágios de granulação e/ou queima. Note que a granulação do material para escoramento de fraturas deve ser realizado ou pelo método a seco ou método a úmido.

De acordo com uma variante da modalidade do método, materiais cerâmicos, poliméricos, metálicos, vidro, materiais aglomerantes e combinações desses são acrescentados ao peletizador durante o estágio de aplicação de pó entre o estágio de crescimento do grânulo e o estágio de granulação. Essa aplicação de pó dos finos cerâmicos é requerida para prevenir a aderência e empacotamento do material para escoramento de fraturas não acabado. Os materiais acrescentados são pó, aglomerados, fibras (ou combinações desses), ou diversos aglomerados de materiais cerâmicos, metálicos, vidro ou pós aglutinantes e/ou fibras, e também combinações desses mencionados. Os materiais acrescentados no estágio de aplicação de pó criam pelo menos um tipo de superfície rugosa ou acidentada, descrita pelos critérios 1 e 2 e descrita na Figura. A quantidade do material, acrescentado nesse estágio intermediário, é calculada com base no número médio de irregularidades por sobre 1 mm² de superfície do material para escoramento de fraturas, a altura média e o diâmetro médio do material para escoramento de fraturas no caso de esferóides. De acordo com esse método, os estágios regulares da tecnologia de materiais cerâmicos para escoramento de fraturas são aplicados após a granulação (secagem, classificação por passagem em peneiras, queima, e classificação final).

De acordo com a segunda variante da modalidade da

invenção, estágio adicional de revestimento é aplicado entre o estágio de modelagem das partículas na forma elíptica, lamelares, cilíndricas, tubulares, ou outras formas não esféricas e combinações desses mencionados e o

5 estágio de aplicação de pó da superfície com finos de pó cerâmico controla o a formação de torta de partículas das matérias primas. Esse revestimento adicional é aplicado pelas classes de materiais cerâmicos, poliméricos, metálicos, vidro, materiais aglomerantes, e também

10 composições desses mencionados, e desse modo os materiais são pós, grânulos ou fibras (ou composições desses), ou diversos aglomerados de materiais cerâmicos poliméricos, metálicos, vidro ou materiais aglomerantes (pós e/ou fibras), e combinações desses. Esse revestimento adicional

15 cria um tipo de rugosidade e irregularidade descrita pelas correlações 1 e 2 e descrito na Figura. A quantidade de material, acrescentado em um dado estágio intermediário, é calculada com base no número médio de irregularidades por 1 mm² de superfície do material para escoramento de fraturas,

20 suas médias de altura/profundidade e o composição do eixo maior das partículas elípticas e outras partículas de forma não esférica. De acordo com esse método, o estágio de formação da partícula é seguido pelos tradicionais estágios da tecnologia de materiais cerâmicos para escoramento de

25 fraturas (secagem, classificação, queima, e classificação final).

Entretanto, o estágio de formação de pó, dependendo do tipo de matéria prima usada para a produção do material para escoramento de fraturas, pode ser pulado para ambas as modalidades.

5 Além disso, o tratamento da superfície do material para escoramento de fraturas para o desenvolvimento de uma superfície acidentada deverá ser dividida em poucos estágios produzindo um único tipo de rugosidade em cada estágio; esse tratamento é em seguida do estágio de
10 crescimento do grânulo, do mesmo modo como os estágios intercalados pelo estágio de formação do pó.

A aderência entre os elementos de rugosidade e a superfície da partícula criada por quaisquer dos procedimentos listados pode ser reforçada através de
15 diferentes agentes de aderência. Essas substâncias de aderência podem ser aplicadas:

- sobre as partículas como um revestimento fino seguido pelo estágio de depósito de rugosidade;
- 20 - misturadas preliminarmente com particulado para a rugosidade e irregularidades;
- como uma combinação dessas duas abordagens.

Os grânulos antes do estágio de queima podem ser reforçados com revestimento adicional: cerâmico, vidro,
25 polímeros, metálico, vidro ou materiais aglomerantes e combinações desses mencionados.

Na tecnologia padrão para a produção de material para escoramento de fraturas (isso inclui o estágio de queima), a temperatura de queima precisa proporcionar a finalização de transições de fase para conseguir a desejada
5 densidade e resistência das partículas. A temperatura de queima precisa ser suficiente para a realizar a queima completa ou parcial da superfície cerâmica; o último processo provoca a deformação parcial da superfície do grânulo.

10 No estágio de granulação (entre o estágio de crescimento e o estágio de aplicação de pó), um revestimento com ponto de derretimento abaixo da temperatura de sinterização do grânulo principal pode ser depositado sobre os grânulos semi-acabados. Essa camada de
15 fácil derretimento mantém bem firmemente o particulado produtor de rugosidade sobre a superfície dos grânulos prontos.

O mesmo objetivo pode ser conseguido pela aplicação de um agente de aplicação de pó com temperatura de
20 derretimento abaixo da temperatura de derretimento do corpo do grânulo.

Em ainda um outro aspecto, o método de fabricação do material para escoramento de fraturas inclui estágio adicional entre a queima e a classificação fracional: as
25 partículas de material para escoramento de fraturas são misturadas com materiais cerâmicos, poliméricos, metálico,

vidro, materiais cimentosos e composições desses (esses materiais podem estar na forma de pó, grânulos, fibras, ou combinações desses), ou diversos aglomerados de materiais cerâmicos, poliméricos, metálicos, vidro, pós de cimento e/ou fibras, e também combinações desses; esses materiais colam no material para escoramento de fraturas e criam pelo menos um tipo de rugosidade e irregularidades, descrito pelas fórmulas 1 e 2 e descrito na Figura. Desse modo a quantidade do material, acrescentado no estágio intermediário, é calculada com base no número médio de irregularidades por sobre 1 mm^2 da superfície do material para escoramento de fraturas, a média de altura das irregularidades e média do diâmetro do material para escoramento de fraturas (para esferóides).

O material para escoramento de fraturas produzido é usado pela tecnologia padrão de fraturamento hidráulico.

Em particular, a vantagem do material para escoramento de fraturas desenvolvido foi testada em um conjunto de poços, isto é, sob condições idênticas.

1. O hidro-fraturamento foi realizado em campos de petróleo da Sibéria Ocidental na profundidade de 3700 m sob condições típicas com a produtividade esperada de 80 a 140 m^3 por dia. O bombeio de tradicional material cerâmico esférico para escoramento de fraturas (superfície lisa) resultou numa taxa de produção de poço de 90 m^3 por dia.

2. Sob as mesmas condições e mesma composição do

material para escoramento de fraturas , porém com superfície artificialmente rugosa (descrito pelo primeiro critério em nossa fórmula), o hidro-fraturamento resultou na taxa de poço de cerca de 117 m³ por dia com a

5 produtividade esperada na faixa de 80 a 140 m³ por dia.

O uso do material para escoramento de fraturas desenvolvido em lugar de material para escoramento de fraturas com superfície lisa produz taxa de poço maior em aproximadamente 30%, mantendo as outras condições

10 idênticas.

- REIVINDICAÇÕES -

1. MATERIAL PARTICULADO PARA ESCORAMENTO DE FRATURAS COM FORMA ESFÉRICA OU ELÍPTICA, feito de material cerâmico, polimérico, metálico ou vidro e possuindo
5 rugosidade maior que a do material para escoramento de fraturas usual, caracterizado por a rugosidade da superfície ser não uniforme e descrita por dois critérios A e B, variando nos intervalos: $A = 0,0085$ a $0,85$; $B = 0,001$ a $1,0$.
- 10 2. Método de fabricação de material para escoramento de fraturas, compreendendo a preparação da matéria prima, mistura, granulação, secagem, queima, caracterizado por um estágio adicional da criação da rugosidade da superfície ser acrescentado no estágio de
15 granulação e/ou de queima.
3. Método, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por os materiais cerâmicos, poliméricos, metálicos, vidro, cimentosos ou misturas desses mencionados serem acrescentados ao peletizador.
- 20 4. Método, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por pó, grânulos ou fibras e combinações desses, ou diversos aglomerados de pó de material cerâmico, polimérico, metálico, vidro e de materiais cimentosos e/ou fibras e misturas desses serem utilizados.
- 25 5. Método, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por o tratamento de produção da rugosidade

ser realizado em diversos estágios, sendo os estágios esse modo intercalados com estágio de aplicação de pó.

6. Método, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por diversas formas de rugosidade e de
5 irregularidades serem criadas em diferentes estágios após o estágio de crescimento do grânulo.

7. Método, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por o agente de aderência ser adicionalmente usado para maior aderência entre o particulado de
10 rugosidade e a superfície do grânulo.

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por o agente de aderência ser depositado como uma camada delgada sobre os grânulos antes do estágio de rugosidade e/ou ele ser misturado com o particulado para
15 produzir rugosidade.

9. Método, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por o reforço de revestimento cerâmico, vidro, polimérico, metálico, cimentoso ou misturas desses ser depositado sobre as partículas antes do estágio de
20 queima.

10. Método, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por o estágio de queima tem temperatura alta o suficiente para a queima parcial da superfície cerâmica e deformação da superfície durante o estágio de queima.

25 11. Método, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por uma camada adicional ser depositada sobre

o grânulo com a temperatura de derretimento abaixo da temperatura de derretimento do material básico do grânulo.

12. Método, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por a aplicação de pó do grânulo semi-acabado
5 durante o estágio de granulação ser realizada com um pó com a temperatura de derretimento abaixo da temperatura de derretimento do material básico do grânulo.

13. Método, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por o estágio de queima ser seguido pela
10 adição de pó de material cerâmico, polimérico, metálico, vidro, cimentoso e/ou fibras ou misturas desses; os referidos materiais aderirem ao material para escoramento de fraturas e criarem pelo menos uma forma de rugosidade e irregularidades.

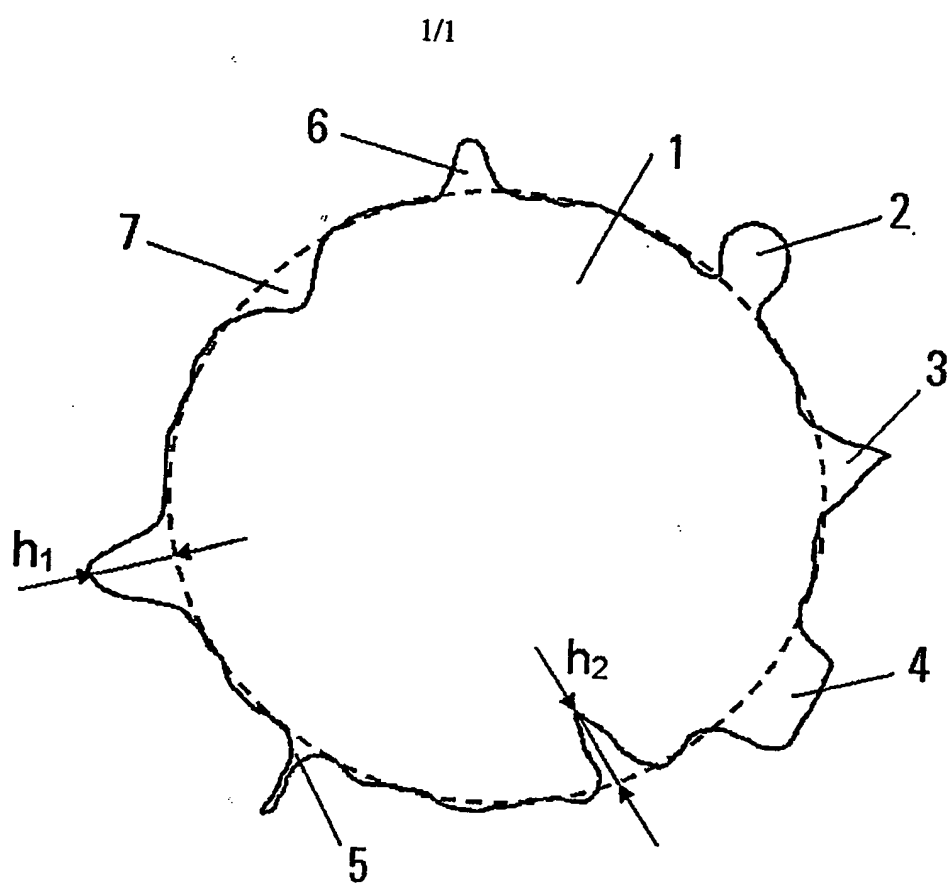


Fig.1

- RESUMO -

MATERIAL PARTICULADO PARA ESCORAMENTO DE FRATURAS COM FORMA ESFÉRICA OU ELÍPTICA

A invenção está relacionada com a indústria de petróleo e gás e pode ser usada para a melhoria da produção de poços em campos de petróleo na medida que ela impede o fechamento da fratura através do bombeio de grânulos de material para escoramento de fraturas ("proppant") durante o fraturamento hidráulico das formações produtoras de petróleo. Uma maior estimulação de um reservatório através da utilização do fraturamento hidráulico é provida com o material para escoramento de fraturas como um particulado com forma esférica ou elíptica, feito de material cerâmico, polimérico, metálico, ou vidro e possuindo rugosidade maior que a do material para escoramento de fraturas usual, em que a rugosidade da superfície é não uniforme e descrita por dois critérios A e B, variando nos intervalos: $A = 0,0085$ a $0,85$; $B = 0,001$ a $1,0$. O método de fabricação do material para escoramento de fraturas compreende a preparação da matéria prima, mistura, granulação, secagem, queima, em que um estágio adicional de criação de rugosidade superficial é acrescentado no estágio de granulação e/ou estágio de queima.