



NORGE

(12) PATENT

(19) NO

(11) 321489

(13) B1

(51) Int Cl.

E21B 33/138 (2006.01)

E21B 43/02 (2006.01)

C09K 8/512 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20015853	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	1999.06.03 PCT/EP99/03946
(22)	Inng.dag	2001.11.30	(85)	Videreføringsdag	2001.11.30
(24)	Løpedag	1999.06.03	(30)	Prioritet	1999.06.03, WO, PCT/EP99/03946
(41)	Alm.tilgj	2002.01.04			
(45)	Meddelt	2006.05.15			
(73)	Innehaver	Sofitech NV , Rue de Stalle 140, B-1180 Brussel, BE			
(72)	Oppfinner	David Quinn, Paris, FR Patrick Murphy, Grande Prairie, AB, CA Les Johnson, Grande Prairie, AB, CA Kamal Arsanious, Grande Prairie, AB, CA Allen R Toney, Red Deer, AB, CA			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS , Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, NO			
(54)	Benevnelse	Skjærkraftømfintlig pluggingsfluid for plugging samt en fremgangsmåte for plugging av en undergrunn			
(56)	Anførte publikasjoner	NO 178266 C, NO 305087 B1, NO 305088 B1, US 3948672			
(57)	Sammendrag				

Tilstoppingsfluid for tilstopping av en underjordisk formasjonssone som omgir et borehull, bestående av en emulsjon omfattende en oljefase inneholdende en olje, et emulgeringsmiddel og 2,4-4 kg sement per liter olje og en vandig fase inneholdende vann og 12-16 g polysakkarid per liter vann, hvori volumforholdet olje til vann er i området fra 20:80 til 25:75. Etter utøvelse av skjærkraft inverteres emulsjonen slik av brytingen av emulsjonsdråpene frigir sementen inn i vannfasen slik at det tilveiebringes divalente metall ioner for tverrbinding med polysakkaridene og dannelsen av en gelstruktur.

Den foreliggende oppfinnelse vedrører et reaktivt tilstopningsfluid sammensatt for hurtig geldannelse når det utsettes for høy skjærbelastning. Oppfinnelsen vedrører også en fremgangsmåte for tilstopping av en underjordisk formasjonssone, særlig for å avhjelpe massive slamtap under boring av en brønn.

5 Tappt sirkulasjon under boring er et stort problem. Brønnomkostningene øker dramatisk på grunn av den tid som går tapt på grunn av forsinket brønnproduksjon og også på grunn av assosierte boreproblemer som for eksempel fastsitting av borestreng og sikkerhetsspørsmål. Den mest vanlige metode for å bekjempe tapt sirkulasjon er at det i borefluidet tilsettes tapt sirkulasjonsmateriale (LCM). Kornformede flak og fibrøse partikler, hovedsakelig basert på cellulose-
10 materiale, anvendes for avtetting av frakturer, druserom og porøse soner. Mineraler som glimmer anvendes også vanlig. Hvis selv høye konsentrasjoner av tapt sirkulasjonsmateriale ikke klarer å gjenopprette borefluidsirkulasjonen anbringes en sementplugg. Sementpluggen konsoliderer hulrommene men fyller
15 også det åpne borehull og må gjennombores på nytt før brønnboringen fortsettes. Ganske ofte må prosedyren gjentas flere ganger før det oppnås en korrekt tetting.

Andre metoder involverer bruken av reaktive fluider. To reaktive fluider blir enten blandet nær formasjonen hvor tapt sirkulasjon opptrer med et første fluid pumpet ned gjennom borestrengen og et andre fluid fortrent ned gjennom det
20 omgivende ringformede rommet. Ved grenseflaten mellom de to fluider tillater den turbulente strøm hurtig dannelse av en gummiaktig fast masse vanlig kjent som en gjengepasta ("gunk"). En ytterligere praksis anvender tverrbundne polymergeler hvis reaksjon initieres på overflaten. I begge tilfeller er teknologien meget risikabel etter som små endringer i sammensetningen, temperaturen eller fluidforurensning
25 kan føre til for tidlig geldannelse i og omkring bunnhullstrengen og føre til vesentlig operasjonssvikt.

Det er også kjent som tilstopningsfluider å anvende såkalte reotrope væsker som fortykkes når de utsettes for høy påkjenning. US patentskrift 4.663.366 omhandler en slik polykarboksylsyreholdig vann-i-olje emulsjon hvor
30 oljefasen inneholder hydratiserbar vannsvellende hydrofil leire som bentonitt og den vandige fase inneholder et oppløst polyakrylamid og en polykarboksylsyre. Størkningen av dette tilstopningsfluid foregår som et resultat av en svelling av bentonitten når bentonitten kommer i kontakt med vann. Hver dispergert dråpe i

den vandige fase er belagt med et polymert materiale slik at kontakten bare forekommer når emulsjonen underkastes høye skjærkrefter som bryter dette belegg.

Et ytterligere reotropt tilstopningsfluid er kjent fra WO-94/28085. I likhet med emulsjonen i US patentskrift 4.663.366 er fluidet basert på en "løs" invert emulsjon. Den kontinuerlige fase tilveiebringer et innkapslingsmedium for et tverrbindende middel og en indre fase bestående av en høy konsentrasjon av en polymer mens grenseflatespenningen mellom to faser opprettholdes ved en konsentrasjon av et lipofilt overflateaktivt middel.

Et foretrukket tilstopningsfluid i WO-94/28085 patentsøknaden består av omtrent 25 volumprosent av en kontinuerlig fase inneholdende en hydrofob væske valgt fra mineralolje, vegetabiliske oljer, estere og etere, et emulgeringsmiddel på en triglycerid basis, bentonitt og kalsiumhydroksid og omtrent 75 volumprosent av en dispergert vandig fase inneholdende vann, xantan og eventuelt et vektmateriale som for eksempel barytt. Når denne type fluid utsettes for et signifikant trykkfall opptrer en inversjon av emulsjonen og tverrbindingsmiddelet frigis i den vandige fase og resulterer i dannelsen av en gel.

Denne sistnevnte type av tilstopningsfluid kan lagres i flere uker uten å reagere og kan pumpes med en sentrifugalpumpe i flere timer. Geldannelsen er hurtig og utløses bare ved å underkaste tilstopningsfluidet for høye skjærkrefter, for eksempel når det presses gjennom en borkrone. Anvendelse av denne type av tilstopningsfluid er imidlertid begrenset ved manglende robusthet og krymping over tid. Over en temperaturterskel på omtrent 90°C blir videre gelen mindre fast og går over til et viskøst fluid på grunn av bryting av de tverrbundne bindinger.

Det ville derfor være ønskelig å tilveiebringe et nytt tilstopningsfluid som tilveiebringer en mer robust gel, både i den initiale gelfase og i de følgende dager. Det ville også være ønskelig å tilveiebringe et tilstopningsfluid med bedre termisk stabilitet. Det er også et behov i brønnkontrollen for bedre prosedyrer, inklusive anbringelsesstrategier for å hjelpe til med å utføre vellykkede arbeider.

Oppfinnelsen tilveiebringer således et tilstopningsfluid for tilstopning av en underjordisk formasjonssone som omgir et borehull og hvor fluidet består av en emulsjon omfattende:

- a. en oljefase inneholdende
 - en olje

- et emulgeringsmiddel
- 2,4-4 kg sement per liter olje
- b. en vandig fase inneholdende
 - vann
 - 12-16 g av en polysakkarid per liter vann

hvor olje til vann volumforholdet er fra 20:80 til 25:75.

Emulsjonen antas å være invert (vann-i-olje) men er faktisk tenkt å være direkte (olje-i-vann) med ytterligere vanddråper inne i den store oljedråpe, dvs. en invertertemulsjon i en direkte emulsjon.

Prinsippet for styrkning av tilstopningsfluidet i følge den foreliggende oppfinnelse er essensielt det samme som for tilstopningsfluidet i WO-94/28085 drøftet i det foregående. Det er tverrbindingen av polysakkaridet som bevirker gell-dannelsen. Polysakkarid er kjent som vanlig anvendte polymere viskositetsøkende midler anvendt i stor utstrekning innen oljeindustrien. En tverrbinding skapes mellom et metall ion og hydroksylgruppene langs polysakkaridenes polymerkjeder. Etter eksponering av tilstopningsfluidet for et trykkfall på mer enn 2 MPa over en liten dimensjon er det antatt at emulsjonen inverterer eller "vipper" fra sin invert tilstand til en mer stabil direkte tilstand. Brytingen av emulsjonsdråpene frigir sementen inn i vannfasen og tilveiebringer således Ca^{2+} som divalent metall ion for tverrbinding med polysakkaridene og dannelse av gelstrukturen.

Med tiden er det antatt at den faste gelstruktur taper olje, sannsynlig ved migrasjon gjennom den porøse og høyt permeable gelstruktur. Etter som oljen fjernes og mer sementpartikler blir vannfuktet begynner sementen å hydratisere og generere en lav trykkstyrke over tid. Styrken som utvikles av dette materiale er flere størrelsesordener høyere styrken utviklet med sementfrie emulsjoner og tilveiebringer ytterligere styrke for å konsolidere svake formasjoner. Med en økning av temperaturen synes fordelaktig fjernelsen av olje og således hydratisering av de vannfuktede partikler å bli akselerert. Dette translaterer til at gelen akselereres til et mer sementholdig materiale som er mer termisk stabilt ved temperaturer så høye som 140°C .

Tverrbindingen som skapes mellom metall ionet og hydroksylgruppene pågår hvis pH er i området mellom 11 og 13. Når tverrbindingsmiddelet er kalsiumhydroksid som foretrukket i emulsjonen ifølge WO-94/28085, kan en slik

høy pH være vanskelig å oppnå med noen problematiske oljer som for eksempel dieseloljer med vinteregenskaper som inneholder overflateaktive midler som er skadelige for geldannelse. Fordelaktig overvinner anvendelsen av sement som tverrbindingsmiddel totalt denne vanskelighet ettersom pH med en gang øker når sement tilsettes til emulsjonen. Tilsetningen av sement øker således beskyttelsen mot syrevirkninger og videre vil tilsetningen ettersom sementen størkner gjøre systemet immunt overfor pH endringer og øker resistensen til mekaniske virkninger med en faktor på 700 sammenlignet med en myk gel alene.

Et hvilket som helst rent flytende hydrokarbon kan anvendes for oljefasen. Oljen kan fordelaktig være valgt fra en hvilken som helst basisolje egnet for boring av fluider som mineralolje, vegetabiliske oljer, ester- og eteroljer, dieseloljer, alfaolefiner, polyolefiner, n-alkaner og blandinger derav. Selekterte oljer må være forlikelige med de anvendte borefluider og miljøkravene som for eksempel forbyr bruk av aromatholdige oljer på offshore rigger.

Konvensjonelle kommersielt tilgjengelige emulgeringsmidler kan anvendes, valgt på basis av deres forlikelighet med alkalisk miljø og den tilsiktede anvendelsestemperatur. Lipofile overflateaktive midler, anvendt for fremstilling av vann-i-olje emulsjon borefluider omfattende et høyt vanninnhold (mer enn 50 volumprosent) og kjent for de fagkyndige kan tilveiebringe den nødvendige emulsjonsstyrke. Foretrukne emulgeringsmidler er basert på kombinasjon av fettsyrer og polyamider eller på triglyserid. Størkningstiden for tilstopningsfluidet avhenger av mengden av emulgeringsmiddel: tilsetningen av en liten mengde emulgeringsmidler (mindre enn 2-3 ml per liter emulsjon) vil resultere i en meget kort størkningstid og en høyt ustabil emulsjon. I motsetning til dette vil en stor konsentrasjon, over 20 ml per liter emulsjon resultere i et for stabilt fluid, en meget lang størkningstid og høyere skjærtrykk nødvendig for geldannelse. Et foretrukket tilstopningsfluid omfatter mellom 6 og 12 ml emulgeringsmiddel per liter totalt fluid.

En økt mengde av emulgeringsmidler øker størkningstiden og gjør således fluidet mindre følsomt for lav skjærkraft.

Sementen er fordelaktig en Portland Class A, Class G eller Class H sement, vanlig anvendt for brønnsementering. Andre sementer som mikrosement, tiksotropsement, sement med høyt gipsinnhold har også med hell vært testet selv om de kvalitative resultater ikke var så gode. Sementer av typen med aluminiuminnhold kunne også vurderes på grunn av deres evne til hurtig utvikling av en

trykkstyrke og kunne hjelpe til med å konsolidere svake formasjoner ved lav bunnhulltemperatur.

Det anvendt vann er foretrukket lednings-ferskvann men ikke-forurenset borevann kan også anvendes.

5 Som nevnt ovenfor er polysakkaridet vanlig kjente polymere viskositets-økende midler i brønnkontroll og vil bli valgt av hensyn til deres gode tverrbindingsegenskaper og lav viskositet før tverrbinding. Mest foretrukne polysakkarider er xantaner.

10 Tilstoppingsfluidet ifølge den foreliggende oppfinnelse kan eventuelt omfatte ytterligere tilsetningsstoffer som størkne akselerator, tappt sirkulasjonsmateriale og inaktive fyllstoffer.

Med størkningsakselerator forstås et tverrbindingsmiddel inneholdende divalente eller trivalente metall ioner og foretrukket Ca^{2+} givende middel som kalsiumhydroksid (typisk tilsatt i en konsentrasjon på mindre enn 7 kg/m^3 15 tilstopningsfluid) som hjelp til å tilveiebringe Ca^{2+} ved det initiale størknings-tidspunkt og kalsiumklorid (typisk tilsatt med 3 vektprosent av sementen) gir en kjent sementakselerator som kan anvendes for å lette sementhydratisering. Både kalsiumhydroksid og kalsiumklorid må tilsettes til oljefasen av tilstopningsfluidet.

Hvis systemet er bestemt anvendt ved middels temperaturer, typisk mellom 20 90°C og 120°C , kan det også være interessant å anvende en blanding av kalsium og zirkonium.

Selv om det ikke foretrekkes kan tilstopningsfluidet også omfatte konvensjonelt tappt sirkulasjonsmateriale som nøtteskallplugg, fibere, kalsiumkarbonat, glimmer etc. Hvis tilstopningsfluidet er utsatt for å passere gjennom borkronen må 25 da de tapte sirkulasjonsmaterialer være av fin eller middels partikkelstørrelse avhengig av størrelsen av dysene ved borkronen.

Inaktive fyllstoffer som leirer anvendes vanlig i brønnboringfluid for å forbedre suspensjonen av faststoffer, for å holde partikkelformede faststoffer, som brodannende midler fra separering. Bentonitt er foretrukket på grunn av dets evne 30 til å absorbere store mengder vann slik at fortynning av gelen ved vanninntrengning hindres. Bentonitt øker videre gelstyrken av oppslemmingen og forbedrer suspensjonen av faststoffer når tappt sirkulasjonsmateriale ytterligere inkluderes. I tillegg vil bentonitt tilveiebringe forbedret fluidtapskontroll.

Et foretrukket tilstopningsfluid ifølge den foreliggende oppfinnelse omfatter per kubikkmeter fluid: 133-166 liter olje, 6-12 liter emulgeringsmiddel, 3-4 kg polysakkarid, 600-700 kg sement, 0-7 kg kalsiumhydroksid og 466-500 liter vann.

De to faser av emulsjonen kan fremstilles i to separate tanker ved å blande
5 oljefasekomponentene i en først tank og ved å la polysakkaridet hydratiseres i vann i den andre tank og tilsette blandingen fra den første tank i den andre tank under omrøring.

Ifølge en foretrukket variant av den foreliggende oppfinnelse omfatter fremgangsmåten for fremstilling av det nye tilstopningsfluid trinnene med å oppløse
10 emulgeringsmiddel i oljen, tilsette sement til oljen og eventuelt ytterligere tilsette tilleggskilde for Ca^{2+} -ioner og endelig tilsette polysakkaridet til den omrørte oljefase for å fremstille en forhåndsblending som omfatter alle bestanddelene i emulsjonen unntatt vann. Denne forhåndsblending kan lagres og lagres på stedet inntil den trenges forutsatt at utilsiktet tilsetning av vann hindres. Når vann tilsettes
15 til denne forhåndsblending skapes en emulsjon og polysakkaridet overføres til vannfasen hvor det begynner å hydratisere og utvikle økt viskositet i emulsjonen. Alle andre faste materialer i emulsjonen forblir i en oljefuktet tilstand.

Den fremstilte emulsjon er stabil ved vanlig temperatur i minst 6 timer hvis den opprettholdes under forsiktig omrøring, foretrukket i skovlomrørte satstanker.
20 Oversammenblanding vil begynne geldannelse og gjøre pumping vanskelig.

Et aspekt ved den foreliggende oppfinnelse er en fremgangsmåte for anbringelse av en plugg i et borehull for å behandle tapt sirkulasjon. Den anbefalte praksis etter å ha støtt på en sone med sirkulasjonsfluidtap/borefluidtap er å behandle sonen så fort som mulig. Dybden av den laveste sone med tapt
25 sirkulasjon kan finnes ved logging (for eksempel med avbildingsutstyr) eller ved å plotte dybde mot tapsrate. Nøyaktig lokalisering er en nøkkel for å sikre at tilstopningsvæskepluggen vil bli anbrakt under området med tapt sirkulasjon. Væskepluggen blir foretrukket pumpet gjennom borkronedysene ved bruk av væskeplugg med et volum på omtrent $5\text{-}8\text{m}^3$. Etter pumping av en første
30 væskeplugg får brønnen ekvilibres og forsøk bør gjennomføres for å forsøke sirkulasjon. Hvis full sirkulasjon ikke oppnås kan det da være nødvendig med to eller tre væskeplugg for effektivt å tette sonen.

Selv om pumping av tilstopningsfluidet gjennom borkronedysen anbefales er det verdt å notere at væskepluggen kan anbringes uten en borkrone ved å

utsette den for skjærkraft på overflaten. I det siste tilfellet er det nødvendig med høye konsentrasjoner av emulgeringsmiddel for å forsinke størkningen og sikre at fluidpluggen kan slippe ut av borstrengen før geldannelse.

Disse og andre trekk ved oppfinnelsen vil sees og forstås av de fagkyndige ut i fra den detaljerte beskrivelse av de følgende eksempler.

Fremstilling av emulsjon

En fluidplugg ble blandet bestående av 150 ml lett mineralolje, 10 ml kommersielt tilgjengelig lipofilt overflateaktivt middel ("EMUL" HT som kan fås ved Schlumberger Dowell), 3,5 g Xantan, 6,5 kg Portland Class G sement og 480 ml vann.

Oljen anbringes i en beholder og omrøres. Til den omrørte oljefase tilsettes sakte det lipofile overflateaktive middel inntil det overflateaktive middel er oppløst i oljen. Når dette overflateaktive middel er oppløst tilsettes sement til den omrørte olje. Xantan tilsettes videre til den omrørte oljefasen. Den omrørte oljefase inneholdende kjemikaliene blandes i ytterligere 5 minutter. Emulsjonen dannes ved å tilsette vann til den omrørte oljefase og etter at gelen er blitt utsatt for skjærkraft. Gelstørkningen opptrer i løpet av omtrent 3 minutter med et trykkfall på 2,7 MPa.

For sammenlikningsformål ble prøve 2 med den samme sammensetning men uten sement også fremstilt.

Den størknede gel ble anbrakt i et UCA kammer ved romtemperatur. UCA kammeret ble lukket og oppvarmet fra romtemperatur til forsøkstemperaturen med en takt på 3,5°C/time. Prøve 1 ble oppvarmet til 120°C og 140°C, prøve 2 ble oppvarmet til 70°C.

Hver prøve ble innelukket i kammeret under 20,7 MPa i en periode på 72 timer. Prøver ble dekket med et lag av vann for å redusere fordampning.

Etter 72 timer ble kamrene luftet og avkjølt til romtemperatur. Materialene ble testet på styrke ved å utøve et sterkt fingertrykk på materialet. Observasjoner ble notert.

- Prøve 1: Materialet inneholder områder med svak gelstyrke og lav til midlere trykkstyrke.

- **Prøve 2:** Materialet har en høyere trykkstyrke (den høyeste av de 3 prøver) og bibeholder sin form fra UCA kammeret. Det ble ikke iaktatt noe fritt vann eller volummessig krymping.
- **Prøve 3 (kjent teknikk):** Det oppnås en meget sterk emulsjon som er for stabil
s overfor skjærkrefter slik at pluggen aldri størkner. Med litt lavere konsentrasjon av emulgeringsmiddel ble det dannet en svak gel som gikk i stykker mot 70°C.

P a t e n t k r a v :

1. Tilstopningsfluid for tilstopping av en underjordisk formasjonssone som omgir et borehull, k a r a k t e r i s e r t v e d at det består av en emulsjon
s omfattende:
 - a) en oljefase inneholdende
 - i. en olje
 - ii. et emulgeringsmiddel
 - iii. 2,4-4 kg sement per liter olje
 - 10 b) en vandig fase inneholdende
 - i. vann
 - ii. 12-16 g av et polysakkarid per liter vann

hvor volumforholdet olje til vann er mellom 20:80 og 25:75.
- 15 2. Tilstopningsfluidet ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at det ytterligere omfatter en størkningsakseleratormiddel inneholdende divalent eller trivalent metallioner.
3. Tilstopningsfluid ifølge krav 2, k a r a k t e r i s e r t v e d at metallionet er
20 Ca^{2+} .
4. Tilstopningsfluid ifølge hvilket som helst av kravene 1 til 3, k a r a k t e r i s e r t v e d at det ytterligere omfatter et inaktivt leirefyllstoff.
- 25 5. Tilstopningsfluid ifølge hvilket som helst av krav 1-4, k a r a k t e r i s e r t v e d at det per kubikkmeter fluid omfatter:
 - a) 133-166 liter olje
 - b) 6-12 liter emulgeringsmiddel
 - c) 3-4 kg polysakkarid
 - 30 d) 600-700 kg sement
 - e) 0-7 kg kalsiumhydroksid
 - f) 466-500 liter vann

6. Fremgangsmåte for fremstilling av tilstopningsfluidet ifølge hvilket som helst av kravene 1-5, k a r a k t e r i s e r t v e d trinnene med å oppløse emulgeringsmiddel i oljen, tilsette sement til oljen, eventuelt tilsette størkningsakseleratoren og tilsette polysakkaridet til den omrørte oljefase for fremstilling av en forhånds-
5 blanding og blanding av denne forhåndsblending med vann før tilstopningsfluidet pumpes inn i brønnen.
7. Fremgangsmåte for tetting av en sone med sirkulasjonsfluidtap/borefluidtap i et borehull
10 k a r a k t e r i s e r t v e d trinnet med å pumpe et tilstopningsfluid ifølge hvilket som helst av kravene 1-5 og initiere geldannelsen av tilstopningsfluidet ved hjelp av skjærkrefter.
8. Fremgangsmåte ifølge krav 7, k a r a k t e r i s e r t v e d at skjærkreftene
15 utøves gjennom borkronedysene.
9. Fremgangsmåte ifølge krav 7, k a r a k t e r i s e r t v e d at skjærkreftene utøves på fluidet før det pumpes inn i borehullet.