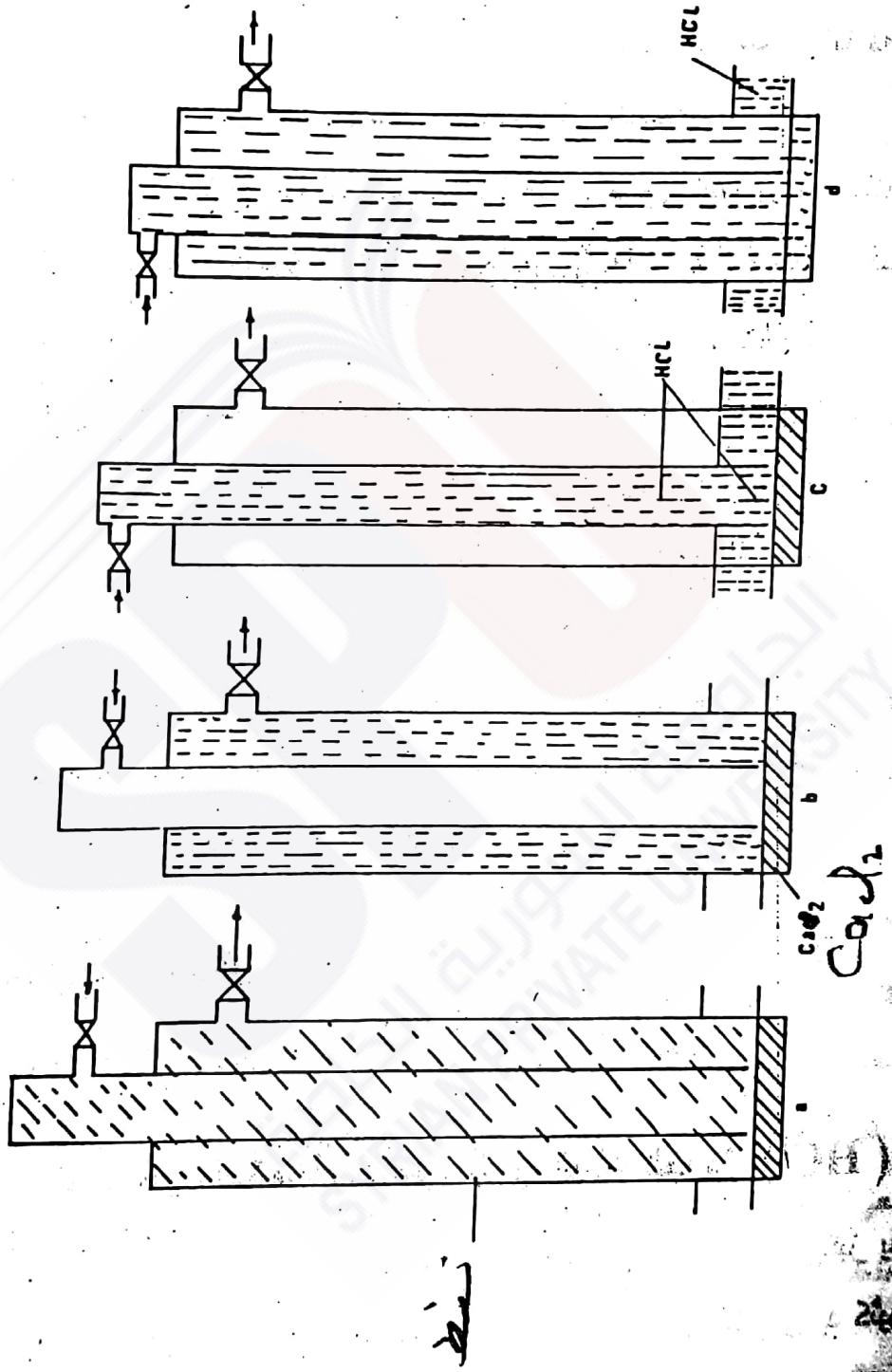


الشكل (2-8)

Scanned by CamScanner

4- ترفع مواسير الإنتاج من مقابل الطبقة المنتجة ويحقن الحمض بحجم البئر مقابل الطبقة المنتجة .

5- تغلق مواسير التغليف ويحقن بقية السائل الحمضي تحت ضغط .

6- يحقن النفط بعد ذلك بحجم مواسير الإنتاج وحجم البئر مقابل الطبقة المنتجة وذلك للتأكد من دخول كامل كمية الحمض في الطبقة .

7- تغلق مواسير الإنتاج ويترك البئر فترة كافية لحصول التفاعل وانتهائه بين السائل الحمضي والصخر وهذا يتراوح بين (10 - 12) ساعة وقد يزيد عن ذلك .

بعد ذلك يفتح البئر ويسحب الحمض ويبدأ بالإنتاج من جديد . ومن أجل تعيين المسافة التي وصل إليها الحمض متفاعلا مع الصخر تجري قياسات كهربائية من نوع (γ) قبل التحميض وبعده ومن مقارنة هذه القياسات تعين المسافة R_1 . إذا لم يكن هناك جريان سوائل (المرحلة a) بسبب ضغط الطبقة القليل فعند ذلك يحقن في البئر وبمعدل كبير كمية من النفط ويراقب مستوى السائل في الفراغ الخلفي فعند ملاحظة تباينه يحقن وبنفس المعدل السائل الحمضي ثم يحقن بعده النفط بحجم مواسير الإنتاج والبئر مقابل الطبقة المنتجة .

2-9- طرق التحميض

يمكن أن يتم تحميض الآبار بعدة طرق ندرس فيما يلي أهمها :

2-9-1- التحميض باستعمال حمض كلور الماء المركز (HCl)

حمض كلور الماء الذي يستعمل في تحميض الطبقات المنتجة ذو تركيز يتراوح بين 12- 15 % ، لكن لوحظ أن استعمال هذا الحمض بتركيز أكبر يزيد كثيرا من فعالية عملية التحميض وخاصة في الآبار الضحلة والصخور الدولوميتية حيث يؤمن دخول الحمض متفاعلا مع الطبقة لمسافة كبيرة وبالتالي فإنه يزيد إنتاجية الطبقة من

Scanned by CamScanner

خلال النتائج التالية :

أ- يؤمن تحقيق قنوات لجريان النفط من خلال إذابته للكربونات بعمق كبير في الآبار ذوات التشبع الكبير بالماء لأنه يحافظ على تركيز كاف عند اختلاطه مع المياه الطبقية .

ب- يؤدي إلى الإنقاص السريع للنسبة بين السطح النوعي للمسامات وشبكة القنوات وحجم الصخر .

ج- نتيجة للتركيز الكبير للسائل الحمضي فإن حجم ثاني اوكسيد الكربون(CO_2) الناتج عن تفاعل الحمض مع الصخور الكربونية هو كبير أيضا ويؤدي إلى إنقاص ملحوظ للزوجة النفط .

د- حجم ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) الحر (أي الذي لا ينحل في النفط أو الماء) هو كبير ويساهم في إعادة سحب السائل الحمضي من الطبقة .

يتم التوصل إلى التركيز المثالي للسائل الحمضي المركز بنسبة 28 % نتيجة أبحاث مخبرية مكثفة .

لاستعمال السائل الحمضي المركز سيئة كبيرة وهي تأثيره على المعدات المعدنية داخل البئر وعلي السطح والتي تتطلب استعمال مواد عازلة ذوات فعالية كبيرة .

عندما تكون درجة حرارة البئر معتدلة فإن المواد التي ذكرت سابقا يمكن استعمالها في حالة استعمال سائل حمض مركز ولكن طبعا بكميات أكبر .

أما عند درجات الحرارة العالية والتي تصادف في الآبار العميقة والعميقة جدا فتصبح غير فعالة ويجب البحث عن مركبات أخرى .

و- وتسعى حاليا إلى إنقاص زمن بقاء الحمض ضمن المعدات المعدنية وكذلك إجراء تنظيف أولي للبئر بهدف إنقاص درجة حرارة الطبقة .

2-9-2- التحميض باستعمال حموض ضعيفة

الإتجاه الحديث في التحميض هو باستعمال حموض ضعيفة من نوع حمض

Scanned by CamScanner

الكربون وذلك بحقن غاز ثاني أوكسيد الكربون في الطبقة أو حمض الكبريتي من خلال حقن غاز ثاني أوكسيد الكبريت (SO_2) .

2-9-2-1- استعمال ثاني أوكسيد الكربون (CO_2)

عند خلط ثاني أوكسيد الكربون مع الماء ينتج حمض الكربون الذي هو عبارة عن حمض ضعيف حسب التفاعل الآتي :

$$H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3$$

يتميز حمض الكربون بـ (PH) ثابت وهو حوالي (PH = 3.2) حتى عند استعمال تراكيز كبيرة جداً من غاز ثاني اوكسيد الكربون .

تتفاعل كربونات الكالسيوم والمغنزيوم مع حمض الكربون فيتشكل بيكربوناتها تنحل في الماء وفق التفاعلين التاليين :

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

$$MgCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Mg(HCO_3)_2$$

يعتمد انحلال ثاني أوكسيد الكربون في الماء على الضغط ودرجة الحرارة حيث أن درجة الانحلال تتناسب طرداً والضغط وعكساً ودرجة الحرارة .

CO_2 -المحقون في الطبقة يقوم بإنقاص لزوجة النفط وكذلك التوتر السطحي بين النفط والماء وبالتالي يحسن من شروط تحرك النفط في الطبقة .

2-9-2-2- استعمال ثاني أوكسيد الكبريت (SO_2)

يعطي هذا الغاز بانحلاله بالماء حمض الكبريتي الذي يتصرف كأنه حمض قوي يتراوح تركيز الغاز في الماء في مجالات واسعة .

سرعة تفاعل هذا الحمض مع الصخر هي قليلة وبالتالي يمكن أن يكون تأثيره على قنوات الطبقة (مزيداً لها) لمسافة كبيرة .

غاز ثاني أوكسيد الكبريت ينحل في الماء وفي النفط حيث يقلل لزوجة النفط

Scanned by CamScanner

وبالتالي يحسن من شروط جريانه في الطبقة ويتم الحصول عليه بحـــرق الكـــبريت الذي هو أحد نواتج مصافي النفط . يمكن حقن (SO_2) النقي و الجاف في البئر حتى يصل إلى المنطقة المثقبة مقابل الطبقة المنتجة وذلك لتلافي تأثيره علـــى المعـــدات المعدنية .

يتم تفاعل حمض الكبريت مع الصخور الكلسية وفق التفاعلات التالية:

$$3H_2SO_3 + 2CaCO_3 \leftrightarrow 2H_2O + 2\,CO_2 + Ca(HSO_3)_2$$

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 + CaCO_3 \leftrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

$$Ca(HCO_3)_2 + 2SO_2 \leftrightarrow Ca(HSO_3)_2 + 2CO_2$$

$$6H_2SO_3 + 2Mg(CO_3)_2 \leftrightarrow CaSO_3 + Ca(HSO_3)_2 + Mg(HSO_3)_2 + 4H_2O + 4CO_2$$

المركبات الآتية $CaSO_3$, $MgSO_3$, $Ca(HSO_3)_2$, $Mg(HSO_3)_2$ تبقـــى منحلة في الماء لا تترسب وكذلك غاز ثاني أوكسيد الكربون .

معالجة الطبقات بحمض الكبريتي يؤدي إلى حل الحبيبات الكلسية التـــي تغلـــق بعض مسامات الصخر وكذلك توسع القنوات الموجودة في الصخور الخازنة .

محاسن استعمال غاز ثاني أوكسيد الكبريت في تحميض الطبقات هي :

1- يمكن من الحقن لمسافة كبيرة .

2- زمن فعالية الحمض هي أكبر وبالتالي يكمن تركه فترة أطول في الطبقة .

3- كلفة قليلة بالنسبة لبقية الأحماض ذلك لأن SO_2 يستعمل بكميات قليلة وهـــو ذو أسعار أقل من بقية المركبات التي تستعمل في التحميض .

2-9-2-3- التحميض باستعمال غاز كلور الهيدروجين

تؤدي هذه الطريقة إلى زيادة كمية الحمض التي يمكن ضخها في الطبقة لزيـــادة

Scanned by CamScanner

النفوذية لمسافة أبعد ما يمكن عن قطر البئر وتتم بحقن كلور الـــهيدروجين بشكـــل سائل كثيف مضاف إليه الدهيداً فورمكا (فورم ألدهيد).

2-9-2-4- التحميض باستعمال مزيج حمضي (HCl + HF)

تعطي هذه الطريقة نتائج جيدة في الطبقات الرملية ذوات التركيز القليل بـــالكلس ويستعمل هذا المزيج بالنسب التالية (HCl 8 - 15 % . HF 1.5 - 6 %) يتفاعل حمض كلور الماء مع الكلس الذي يشكل الرابطة بين حبيبات الصخر . أما حمـــض فلور الماء (HF) فيتفاعل مع الغضار والرمل وكذلك مع الكلـــس هـــذا المزيـــج الحمضي يستعمل من أجل أبعاد الحبيبات الصلبة التي دخلت إلى الطبقة المنتجة مع فاقد الرشح لسائل الحفر أو الحبيبات الغضارية التي توجد أصلاً ضمـــن مســـامات الطبقة .

يتم استعمال هذه الطريقة وفق الخطوات التالية :

أ- تنظيف قعر البئر وجدرانه مقابل الطبقة المنتجة وذلك باستعمال حمام حمضي (HCl 8 %) .

ب- معالجة الطبقة بحمض كلور الماء في حالة كون تركيز الكربونات فيها هـــو أكبر من 4 % وذلك لتلافي ترسب فلور الكالسيوم .

ج- التحميض باستعمال المزيج (HCl + HF) .

2-9-2-5- التحميض باستعمال حموض عضوية

استعمال حمض كلور الماء (HCl) في تحميض الطبقات الكربونية لا يعطـــي باستمرار نتائج إيجابية وذلك نتيجة لسرعة تفاعله الكبيرة والتي تؤدي إلـــى تعادلـــه بسرعة عند تماسه مع الصخر أي أنه يستهلك بسرعة بجوار البـــئر ويـــؤدي إلـــى توسيع قطر البئر وليس إلى توسيع قنوات الطبقة أو تشكيـــل قنـــوات جديـــدة بيـــن مساماتها ولهذا جرب استعمال أحماض ضعيفة ومنها الأحماض العضوية . حيث أن سرعة تفاعلها قليلة وبالتالي زمن تفاعلها مع الصخر هو أكبر والـــذي يمكـــن مـــن

Scanned by CamScanner

حقنها إلى مسافة أكبر .

من الأحماض العضوية التي تستعمل لتحميض الطبقات الكربوناتية حمض الخل وحمض النمل ويستعملان بتراكيز أقل من 35 % وهما يتفاعلان مع الصخور الكربوناتية وفق التفاعلات التالية :

$$2CH_3\text{-}COOH + CaCO_3 \rightarrow (CH_3\text{-}COOH)_2Ca + H_2O + CO_2$$

$$2H\text{-}COOH + CaCO_3 \rightarrow (H\text{-}COO)_2Ca + H_2O + CO_2$$

$$4CH_3\text{-}COOH + MgCa(CO_3)_2 \rightarrow (CH_3\text{-}COO)_2Ca + (CH_3\text{-}CO)_2Mg + 2H_2O + 2CO_2$$

$$4H\text{-}COOH + MgCa(CO_3)_2 \rightarrow (H\text{-}COO)_2Ca + (H\text{-}COO)_2Mg + 2H_2O + 2CO_2$$

خلات ونملات الكالسيوم والمغنزيوم تنحل في الماء وبالتالي تبعد من الطبقة بسهولة بعد انتهاء التحميض .

تزداد فعالية استعمال الحموض العضوية فيما إذا استعمل مزيج الحموض العضوية ولكن يجب أن يتراوح تركيز هذا المزيج بين 10– 50 % .

من المساوئ الرئيسية لهذه الطريقة هي أنها أكثر كلفة من التحميض باستعمال حمض كلور الماء وذلك لأنه يجب استعمال كميات كبيرة منها نتيجة استطاعتها القليلة لإذابة الصخور .

2–9–2–6– التحميض باستعمال مزيج من حمض كلور الماء وحموض عضوية

إن استعمال مزيج من هذه الحموض يقلل من مساوئ استعمالها وهي منفصلة وكذلك يقلل من سرعة استهلاك حمض كلور الماء . الحموض العضوية التي تتشرد ببطء شديد (ثابت التشرد لحمض النمل $K = 2.1 \times 10^{-4}$) وثابت التشرد لحمض الخل ($K = 1.85 \times 10^{-5}$) تقوم بدور

Scanned by CamScanner

المحافظة على المعامل PH للمحلول الحمضي بحدود 4.5 – 5 ولزمن يصل حتى 48 ساعة . وبذلك تمنع ترسب ماءات الحديد أو الألمنيوم التي في حال حدوثها تقلل كثيرا من نفوذية الصخور الخازنة .

من مساوئ هذه الطريقة هي كلفتها الكبيرة بالنسبة لكلفة التحميض عند استعمال HCl فقط .

نسبة الحموض العضوية هي بحدود 10 % حجما .

2-9-2-7- التحميض باستعمال سوائل حمضية مستحلبة

تهدف هذه الطريقة إلى زيادة المسافة التي يمكن أن يدخلها السائل الحمضي متفاعلا مع الصخر وذلك من خلال إنقاصها لسرعة تفاعل الحمض مع الصخر يتم الحصول على المستحلبات الحمضية بإضافة الحمض (عضوي أو معدني) إلى النفط أي أن النفط يشكل الجزء الأساسي من السائل الحمضي أما الحمض فيشكل الجزء المبعثر في النفط .

يتم تفاعل الصخر مع الحمض فقط بعد فقدان ثبوتية المستحلب .

بشكل عام هذه المستحلبات ذوات ثبوتية جيدة عند درجات الحرارة القليلة وأقل عند درجات الحرارة العالية .

تستعمل طريقة التحميض باستعمال مستحلبات حمضية في الطبقات ذوات الشقوق الطبيعية الصغيرة ولكن ذات القابلية للتشقق والتي يوجد فيها النفط ضمن مسامات الطبقة وهي تطبق خاصة في الصخور الكربوناتية .

وقد أعطت هذه الطريقة نتائج أكثر فعالية من طريقة التحميض باستعمال حمض HCl فقط .

2-9-3- التحميض المنفصل للطبقات ذات الخواص المختلفة

لتحميض مجموعة من الطبقات ذوات الخواص المختلفة أو لطبقة منتجة مؤلفة من عدة أقسام مختلفة الخواص وللحصول على نتائج فعالة يجب تحميضها بشكل

Scanned by CamScanner

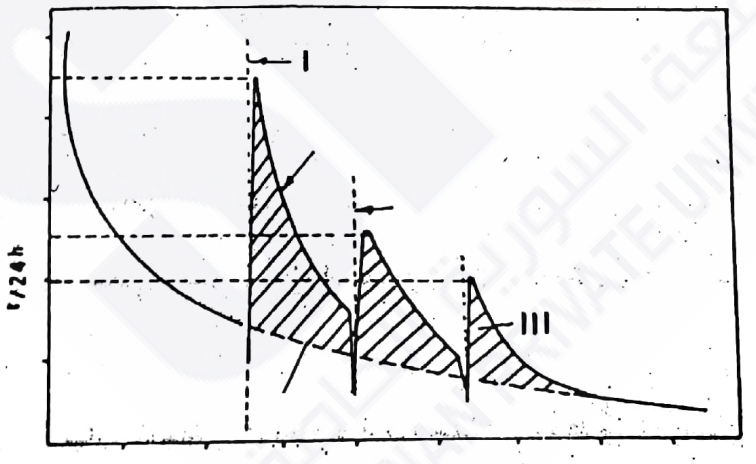
منفصل حيث تعزل عن بعضها البعض في أثناء التحميض وذلك إما باستعمال باكر أو باستعمال سائل ذي لزوجة كبيرة .

عند استعمال الباكر ينزل حتى السطح العلوي للطبقة السفلى ويثبت ضمن المواسير ثم يضخ السائل الحمضي الذي يجبر على الدخول ضمن هذه الطبقة السفلى لأن الطبقات العليا معزولة بالباكر وبعد الانتهاء من تحميضها يحل الباكر وينزل من خلال إجراء دوران داخل البئر كمية من الرمل مقابل الطبقة المحمضة . بعد ذلك يثبت الباكر فوق الطبقة التالية وتحمض ثم يحرر الباكر وتعزل بالرمل وهكذا حتى الانتهاء من تحميض جميع الطبقات .

بعد ذلك ينظف الرمل بإجراء دوران السائل . بدلا من استعمال الرمل يمكن عزل الطبقات بواسطة مركبات كيميائية لا تتفاعل مع الصخر مثل محلول $CaCl_2$.

2-9-4- التحميض المتكرر للطبقات

بعد عملية تحميض ناجحة للبئر فإن معدل الإنتاج منها يزداد ويستمر



تحول معدل الانتاج من البئر بعد التحميض المتكرر.

الشكل (2-9) تحول معدل الإنتاج من البئر بعد التحميض المتكرر .

الإنتاج من هذا البئر بمعدل أكبر من المعدل قبل التحميض لفترة معينة تختلف من بئر إلى آخر ، حيث يتناقص هذا المعدل من جديد .

بعد ذلك تجري عملية تحميض جديدة والتي تؤدي إلى زيادة للمعدل ولكن بدرجة

Scanned by CamScanner

أقل من الأولى ويستمر هذا المعدل بدوره لفترة أخرى حتى يتناقص هو الآخر وبالتالي يجب إعادة التحميض .

2-9-5- التحميض بمراحل

يمكن زيادة فعالية التحميض للطبقات المنتجة فيما إذا حقن السائل الحمضي على مراحل في الطبقة (مراحل 2-4) حجم كل مرحلة يعتمد على سماكة الطبقة ونفوذيتها وضغطها . الزمن بين مرحلة وأخرى يؤخذ مساويا لزمن استهلاك السائل الحمضي حجم السائل الحمضي يزداد في كل مرحلة بحوالي 30- 40 % عن المرحلة السابقة ولزيادة فعالية التحميض ينصح بتنظيف الطبقة بعد كل مرحلة .

تطبق هذه الطريقة عند وجود احتمال حدوث ترسبات ثانوية في أثناء عملية التحميض : بعد انتهاء المرحلة الأولى تضخ كمية من سائل لزج والذي يغطي الصخر بجوار البئر وتحميه من تأثير حمض المرحلة الثانية الذي يدخل إلى مسافة أكبر من الطبقة .

2-9-6- التحميض بواسطة حبيبات صلبة

وهي طريقة حديثة العهد يتم فيها حقن الحمض في الطبقة من خلال حبيبات صلبة قادرة على امتصاص الحمض والتي عند دخولها في مسامات أو شقوق الطبقة ذات الأبعاد الصغيرة تحرر جزء من الحمض الذي يتفاعل مع الصخر في هذه المسامات أو الشقوق موسعا إياها .

أي أنها تقوم بعملية تحميض متكررة للمسامات والشقوق الأصغر فالأصغر .

يجب أن تكون الحبيبات الصلبة حيادية أي لا تتأثر بالحمض وأن تكون ذوات استطاعة لامتصاص أو ادمصاص كبيرة للسائل الحمضي .

Scanned by CamScanner

2-9-7- التحميض باستعمال حمض كلور الماء (HCl) المحضر في الطبقة

وهي إحدى المحاولات الحديثة في التحميض وتهدف إلى زيادة المسافة التي يخترقها الحامض متفاعلا مع الصخر . يتم تحضير حمض كلور الماء في الطبقة بالحقن المنفصل لكل من كلور الأمونياك (NH_4Cl) ومحلول الدهيدفورميكا (CH_2-O) بتركيز 37 – 40 % في البئر . حيث يتفاعلان مع بعضهما البعض معطيين حمض كلور الماء وذلك حسب التفاعل التالي :

$$6CH_2\text{-}O + 4NH_4Cl \rightarrow 4HCl + N_4C_6H_{12} + 6H_2O$$

تركيز كلور الأمونياك (النشادر) يتراوح بين 22 – 25 % . وبنتيجة عدم ثبوتية محلول الدهيدا " فورميكا " فإنه يضاف إليه كحول الميتيل بتركيز يتراوح بين 6 – 15 % وكذلك حمض النمل بتركيز 0.02 – 0.4 % .

حمض كلور الماء الذي ينتج من تفاعل المادتين ذو تركيز قليل وحوالي 5 % . هذا في الشروط الطبيعية أما في الشروط الطبقية (درجة حرارة عالية وضغط كبير) ومع تشكل حمض كلور الماء فإنه يتفاعل مع الطبقة ويتعادل نتيجة إذابته للكربونات وهذا يساهم في استمرار التفاعل باتجاه اليمين (أي يستمر تشكل حمض كلور الماء) . سرعة تفاعل حمض كلور الماء المحضر على السطح وذي تركيز 15 % مع الصخر هي 1.5 Gr/Cm^2S .

أما الحمض المحضر في الطبقة فهو فقط 0.4 Gr/Cm^2S / أي أقل بإحدى عشرة مرة وكلما كانت سرعة التفاعل أقل ازدادت المسافة التي يدخلها الحامض في الطبقة متفاعلا مع الصخر ، هذه الطريقة تمنع زيادة تركيز الحديد في السائل الحمضي نتيجة تفاعل الحمض مع المعدات المعدنية داخل البئر وعلى السطح .

لكن نتيجة التركيز القليل لحمض كلور الماء المحضر بهذه الطريقة والتكاليف المرتفعة للمواد الأولية لتحضيره نسبة إلى حمض كلور الماء الصناعي الذي

Scanned by CamScanner

يستعمل في التحميض فإن هذه الطريقة لم ينتشر استعمالها ولكن جمعها مع الحمض الصناعي يؤدي إلى زيادة كبيرة لفعالية التحميض وذلك بحقن كمية كبيرة من كلور النشادر والدهيدفورميكا في الطبقة متبعة بالسائل الحمضي المحضر على السطح لأنه في هذه الحالة ونتيجة السرعة القليلة لتفاعل الحمض الناتج بالنسبة لسرعة الحمض الصناعي فإنه يحافظ على PH للسائل الحمضي بقيم قليلة ولفترة أطول ممكنا من زيادة كمية السائل الحمضي الذي يحقن في الطبقة وبالتالي زيادة نفوذية الطبقة لمسافة أكبر ومانعا حدوث الترسبات الثانوية التي تنتج عن إرتفاع PH .

2-10- الترسبات الثانوية التي تحدث بعد عملية التحميض وتقلل من فعاليتها

بعد تعادل السائل الحمضي نتيجة استهلاكه من قبل الصخر فإنه يمكن أن تترسب بعض المركبات والتي تعوق الجريان الحر للموائع في الطبقة وبالتالي تقلل من نفوذية الطبقة المنتجة بدلا من زيادتها . السبب الرئيس لهذه الترسبات هو تغير قيمة المعامل PH للسائل الحمضي المستهلك .

المركبات التي تؤدي إلى هذه الترسبات الثانوية هي :

1- كبريتات الكالسيوم .

2- ماءات الحديد والألمنيوم .

3- ترسب السيليكات .

وفيما يلي سوف ندرس هذه الترسبات الثانوية .

2-10-1- إعادة ترسب كبريتات الكالسيوم

الصخور الكربوناتية والدولوميتية أوتلك التي تحوي ترسبات كربوناتية فإنها تحوي كبريتات الكالسيوم . إما بشكل انهدريت ($CaSO_4$) أو بشكل جص ($CaSO_4 .2H_2O$) . كبريتات الكالسيوم هذه تنحل في السائل الحمضي ولكنها

Scanned by CamScanner

تعود وتترسب مرة أخرى بشكل جص أو انهدريت حسب درجة الحرارة وبلورات ذوات أحجام أكبر من الأحجام التي كانت تشغلها في البداية وبالتالي فإنها تؤدي إلى إغلاق القنوات التي جرى توسيعها بالحامض أي أنها تؤدي إلى تقليل النفوذية المطلقة للطبقة وحتى إذا كانت تركيزها قليل جدا في الطبقة فإنها ذات تأثير ملحوظ على النفوذية المطلقة للطبقة .السبب الرئيسي لترسب كبريتات الكالسيوم هو تغير قيمة PH للسائل الحمضي المستهلك ، هذه الكبريتات تتشرد حسب المعادلة الآتية :

$$CaSO_4 \leftrightarrow CA^{++} + SO_4^{--}$$

انحلال الكبريتات يعرف بالجداء بين تراكيز الشوارد وثابت التشرد عند درجة الحرارة 18 C° هو الآتي :

$$[Ca^{++}]\,[SO_4^{--}] = 6.1 \times 10^{-5}$$

إن تناقص تركيز أي من هذه الشوارد $[Ca^{++}]$ أو $[SO_4^{--}]$ يؤدي إلى انحلال كميات جديدة من كبريتات الكالسيوم ($Ca\,SO_4$) . للحفاظ على تعادل الشوارد .

عند ضخ السائل الحمضي في الصخر الذي يحوي مياه مشبعة بكبريتات الكالسيوم فإنه يحدث خللا في توازن الانحلال نتيجة ظهور التفاعل الآتي :

$$H^+ + SO_4^- \longleftrightarrow HSO_4$$

وحسب تعريف ثابت التشرد للمرحلة الثانية لحمض الكبريت فإننا نحصل على :

$$K = \frac{[H^+][SO_4^{--}]}{[HSO_4^-]} = 1.9 \times 10^{-2}$$

ضخ السائل الحمضي يزيد من تركيز شوارد الهيدروجين $[H^+]$ وهذا بدوره يؤدي إلى تناقص شوارد $[HSO_4^-]$ و $[SO_4^{--}]$ كي يحافظ ثابت التشرد على قيمته . ولكن تناقص شوارد الكبريتات $[SO_4^{--}]$ يؤدي إلى تزايد الجداء $[SO_4^{--}]\,[Ca^{++}]$ حتى يصل إلى 6.1×10^{-5} .

Scanned by CamScanner

مع استهلاك الحمض في الطبقة فإن [HSO_4^-] يتشرد مولدا شاردة الهيدروجين [H^+] معقبا بالتفاعل مع الكربونات والبيكربونات على الشكل التالي :

$$H^+ + CO_3^{--} = HCO_3^-$$

$$H^+ + HCO_3^- = H_2CO_3 = H2O + CO_2$$

ذلك لأن كلا من HCO_3^- و H_2CO_3 هي حموض أضعف من HSO_4^- والنتيجة هي تشكل [SO_4^{--}] الذي يؤدي إلى زيادة الجداء [Ca^{++}] [SO_4^{--}] عن 6.1×10^{-5} ولإعادة التفاعل فإن تركيز شوارد الكالسيوم [Ca^{++}] يجب أن يتناقص وهذا يتم بترسبها بشكل $Ca\ SO_4$.

لتلافي ترسب كبريتات الكالسيوم وبالتالي لتلافي تأثيرها السلبي على عملية التحميض ينصح باتخاذ الإجراءات التالية :

أ- إعادة سحب السائل الحمضي من الطبقة قبل استهلاكه الكلي لأن درجة انحلال كبريتات الكالسيوم يتناسب عكسا و PH أي كلما قل الـ PH ازداد انحلالها وبالعكس .

ب_ استعمال بعض المركبات التي تتفاعل مع كبريتات الكالسيوم المترسبة وتبقيها منحلة في الماء مثل فوسفات الصوديوم السداسية $(PO_3\ Na)_6$.

ج- إضافة كلور الكالسيوم إلى السائل الحمضي الذي يمنع انحلال كبريتات الكالسيوم في الحمض .

2-10-2- إعادة ترسب السيليكات

عند استعمال مزيج من حمض كلور الماء HCl وفلور الماء HF لمعالجة الطبقات الرملية وخاصة لتلافي انتفاخ الغضار فإن حمض فلور الماء يتفاعل مع الصخر وفق المعادلات والتفاعلات التالية :

$$36HF + AL_2Si_4O_{10}(OH)_{10} \rightarrow 4H_2SiF_6 + 12H_2O + 3\ H_3AlF_6$$

Scanned by CamScanner

$$6HF + SiO_2 \rightarrow H_2SiF_6 + H_2O$$

$$H_2SiF_6 \rightarrow SiF_4 + 2\,HF$$

$$SiF_4 + 3H_2O \rightarrow 2\,H_2SiF_6 + H_2SiO_3$$

هذا المركب الأخير H_2SiO_3 يترسب جزئيا وبشكل جيلاتين مؤديا إلى إغلاق بعض قنوات جريان الموائع في الطبقة وبالتالي مقللا النفوذية الفعلية لهذه الطبقة .

كذلك فإن حمض فلور الماء يتفاعل مع الصخور الكربوناتية والدولوميتية معطيا فلور الكالسيوم CaF_2 الذي يترسب وفي حال احتواء الصخور الخازنة على شوارد الصوديوم أو البوتاسيوم تساهم هي أيضا في تقليل نفوذية الطبقة بترسيب سيلكات فلور الصوديوم أو البوتاسيوم .

2-10-3- ترسب ماءات الحديد والألمنيوم

يعتبر ترسب ماءات الحديد والألمنيوم من أكثر المشاكل صعوبة عند تحميض الطبقات لأنها بوجود الماء تأخذ حجما نوعيا كبيرا بحيث أن كميات قليلة من الحديد أو الألمنيوم تشكل خطرا كبيرا على نفوذية الطبقة .

يمكن أن نحصل على الحديد من تأثير الحمض على المعدن الموجود في البئر أو على السطح (لأنه لا يمكن للمواد العازلة من منع تأثير الحمض على المعدن بدرجة 100 %) . أو قد يأتي من الطبقة حيث يمكن أن يوجد بتراكيز مختلفة (بيريت FS_2 – ميلكونيت سيدبيريت $FeSO_3$) .

أما الألمنيوم فيأتي من تفاعل الحمض مع المواد الغضارية أو مع المياه الطبقية التي تحوي شوارد الألمنيوم .

ترسب ماءات الحديد يبدأ عندما تزداد قيمة الـ PH على الثلاثة أما ترسب ماءات الألمنيوم فتحدث عند قيم لـ PH محصورة بين 3-4 لمنع ترسب كل من ماءات الحديد والألمنيوم يضاف إلى السائل مركبات تتفاعل معها مشكلة مركبات قابلة للانحلال في الماء أو محافظة على PH بقيم قليلة . من هذه المركبات

Scanned by CamScanner

الأحماض العضوية (حمض النحل أو حمض النمل) .

2-11- تأثير النفط على عملية التحميض

يتفاعل السائل الحمضي الذي يدخل في الطبقة مع الصخر وكذلك مع السوائل الموجودة في الطبقة (نفط وماء) وتفاعله مع النفط يؤدي إلى تشكيل مركبات غير منحلة وتتوضع في مسامات وقنوات الطبقة مقللة من نفوذيتها (أحماض قطرانية) المركبات التي تقلل من نفوذية الطبقة هي الاسفلتيات والراتنجيات والبرافينات وكذلك بعض المشتقات الهيدروكربونية ذوات الوزن الجزئي الكبير وهي تتوضع عند ارتفاع PH السائل الحمضي .

لمنع هذا التوضع تستعمل إحدى الطريقتين :

1- استعمال سائل حمضي مستحلب معالج بمذيبات عطرية .

2- معالجة السائل الحمضي بمواد تمنع تشكل الأحماض القطرانية مثل المواد منشطة .

2-12- تأثير المياه الطبقية على عملية التحميض

تحوي الصخور الخازنة للمركبات الهيدروكربونية دائما مياها طبقية والتي تتفاعل بدورها مع السائل الحمضي المحقون في الطبقة والتي قد تؤدي إلى تشكل بعض المركبات (من تفاعل الحمض مع بعض الشوارد الموجودة في المياه) غير المنحلة مغلقة بشكل جزئي وأحيانا كلي لبعض مسامات وقنوات الطبقة المنتجة ومقللة النفوذية الفعلية لها وفي حال إهمال دراسة التركيب الكيميائي للماء فقد يكون تأثيرها كبيرا جدا .

من الشوارد الموجودة في الماء والتي تؤثر على عملية التحميض نذكر شوارد الحديد والألمنيوم والتي تشكل مع الحمض ماءات الحديد والألمنيوم المترسبة .

شوارد الباريوم التي تشكل مع شوارد الكبريتات SO_4^{--} كبريتات الباريوم غير

Scanned by CamScanner

المنحلة .

تتلخص عملية التحميض على الشكل التالي :

من أجل تحديد نوعية الخمض وكذلك نوعية وكمية المعالجات المختلفة للسائل الحمضي يجب أن تجرى الدراسة الآتية :

1- دراسة التركيب المنرالوجي والكيميائي للصخور الخازنة وتحديد تأثير كل معدن على عملية التحميض سواء في أثناء تفاعل الحمض مع الصخر أو بعد استهلاكه .

2-دراسة التركيب الكيميائي للمياه الطبقية المرافقة للنفط وتركيز مختلف الأملاح والشوارد الموجودة فيها وقابلية كل ملح أو شاردة للتفاعل مع السائل الحمضي وتحديد المركبات التي تترسب في أثناء التحميض أو بعده .

3- دراسة التركيب الكيميائي للمركبات الهيدروكربونية الموجودة في الطبقة وتحديد إمكانية تشكل الحموض القطرانية .

4- دراسة الخواص الفيزيائية للطبقة (مسامية ، نفوذية ، درجة التشبع ،.. الخ)

5- تحديد الشروط الموجودة في الطبقة (ضغط ودرجة الحرارة)

6- تحديد جيولوجية الطبقة الخازنة .

بعد إجراء هذه الدراسات يحدد نوع الحامض وكذلك كمية الحمض والإضافات المختلفة وذلك بناء على تجارب مخبرية تجري على عينات أسطوانية مأخوذة من الطبقة وبشروط الطبقة (حرارة وضغط) ثم يوضع برنامج التحميض من حيث معدل الحقن والزمن الذي يترك الحمض في الطبقة ...) .

2-13- المعالجة الكيميوحرارية للطبقات المنتجة

2-13-1- مبدأ المعالجة الكيميوحرارية

تجمع هذه الطريقة في معالجة الطبقات بين المعالجة الكيميائية

Scanned by CamScanner

(التحميض) والمعالجة الحرارية وذلك برفع درجة الحرارة عند مستوى الطبقة المنتجة وهي تؤدي إلى زيادة فعالية تأثير الحمض على الصخر وكذلك على المواد المتوضعة من مساماته .

إن درجة الحرارة تزيد سرعة تفاعل الحمض مع الطبقة ومن جهة أخرى تؤدي إلى انصهار البرافينات المترسبة في مسامات الطبقة بجوار جدران البئر . رفع درجة الحرارة عند مستوى الطبقة المراد معالجتها بالحمض يتم باستعمال بعض المركبات التي تتفاعل مع الحمض وتطلق كمية كبيرة من الحرارة .

نذكر من هذه المواد : الصودا الكاوية (ماءات الصوديوم) ، الألمنيوم (Al) والمغنزيوم (Mg) التي تتفاعل مع حمض كلور الماء وفق التفاعلات الآتية :

$$NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O + 27.2 \quad K.\ Calories$$

$$21Al + 6\ HCl \rightarrow 2\ AlCl_3 + 3H_2 + 126 \quad K.\ Calories$$

$$Mg + HCl \rightarrow MgCl_2 + H_2 + 110.2 \quad K.\ Calories$$

درجة الحرارة المتولدة من تفاعل واحد كيلو غرام من هذه المواد مع حمض كلور الماء هي الآتية : 685 Kcal/Kg عند استخدام ماءات الصوديوم NaOH و 4600 Kcal/Kg عند استعمال الألمنيوم . و 4520 Kcal./Kg عند استخدام المغنزيوم .

استخدام الصودا الكاوية له مساوئ عديدة منها أن درجة الحرارة المتولدة هي قليلة نسبيا وكذلك عملية طحنها إلى حبيبات ناعمة ووضعها في جهاز التفاعل محفوفة بالمخاطر كونها سريعة الاشتعال .

أما استخدام الألمنيوم مع أنه يطلق كمية كبيرة من الحرارة إلا أنه لا يستخدم نتيجة لتشكيله مع الحمض مركبات متسببة بتشكيل ماءات الألمنيوم (التي مر ذكرها عند دراسة عملية التحميض) استخدام المغنزيوم يعتبر الحل المثالي لأنه يولد كمية أكبر

Scanned by CamScanner

من الحرارة ونتائج تفاعله مع حمض كلور الماء سريعة الذوبان بالماء إضافة إلـــى أن حفظه والتعامل معه لا يؤدي إلى مخاطر .

سرعة تفاعل حمض كلور الماء مع المغنزيوم تتأثر كثيرا بالضغط وهي تتناسب عكسا مع ارتفاع الضغط .

2-13-2- طرق المعالجة الكيميوحرارية

تقسم المعالجة الكيموحرارية إلى طريقتين وذلك حسب المسافة التـــي تتعـــرض للتأثير الحراري هما :

أ- المعالجة الحرارية في البئر .

ب- المعالجة الحرارية في الطبقة .

أ- المعالجة الحرارية في البئر :

وفيها يوضع المغنزيوم ضمن جهاز خاص ينزل في البئر وتفاعله مـــع حمـــض كلور الماء HCl يتم داخل البئر مقابل الطبقة المنتجة .

يحدد معدل ضخ السائل الحمضي في البئر بحيث يأخذ قيمته العظمى في لحظـــة وصوله إلى الجهاز الذي يحوي المغنزيوم وذلك لإنقاص زمن تلامسه مع المعـــدات الحديدية الموجودة في البئر وبعد ذلك ينظم معدل الإ .% بالشكل المطلـــوب بحيـــث يناسب طريقة المعالجة المقترحة حيث يمكن أن تتم بإحدى الطرق الآتية :

2-13-2-1- المعالجة الكيميوحرارية الفعلية :

وفيها يستهلك الحمض كليا في الجهاز الحاوي على المغنزيوم والهدف منها فقط رفع درجة الحرارة في البئر عند مستوى الطبقة المنتجة قسم من الحرارة المتولدة حوالي 40 % يؤثر على الطبقة ولمسافة معينة بجوار البـــئر تعتمـــد علـــى كميـــة الحرارة وناقلية الصخور للحرارة . تؤدي هذه الطريقـــة إلـــى إذابـــة البرافينـــات المتوضعة داخل البئر وكذلك في الطبقة بجوار البئر وتقلل من لزوجة النفـــط فـــي

Scanned by CamScanner

المنطقة المجاورة للبئر وبالتالي تزيد من حركيته التي هي عبارة عن النسبة بين النفوذية الفعلية للطبقة بالنسبة للنفط ولزوجة النفط (K / μ) .

تنتهي طريقة المعالجة هذه بتنظيف البئر من نتائج التفاعل ورفع الجهاز الذي يحوي المغنزيوم .

2-13-2-2- المعالجة الكيميوحرارية المتبعة بالتحميض

وهي عبارة عن الجمع بين الطريقتين حيث أن المعالجة الكيميوحرارية تجري بهدف تنظيف قعر البئر وكذلك جدران الطبقة المنتجة بجوار البئر من البرافينات المترسبة أما عملية التحميض فتهدف وكما مر ذكرها لزيادة نفوذية الطبقة لمسافة أكبر ما يمكن . قبل ضخ السائل الحمضي الذي سيدخل إلى الطبقة يجب تنظيف البئر من نواتج عملية المعالجة الكيميوحرارية .

2-13-2-3- التحميض الحراري :

وهي تشبه الطريقة السابقة من حيث جمعها بين التحميض والمعالجة الحرارية ولكنها تهدف إلى إنقاص زمن المعالجة ولهذا فإن معدل حقن السائل الحمضي في الجهاز الحاوي على المغنزيوم ينظم بحيث يبقى فعالا بعد خروجه من الجهاز أي لا يستهلك بكامله بالتفاعل مع المغنزيوم وبذلك يمكن حقنه في الطبقة كي يذيب الكربونات ويزيد من مسامیتها أو يوسع قنوات جريان النفط في الطبقة .

2-13-2-4- المعالجة الكيميوحرارية في الطبقة :

وفيها يدفع بحبيبات المغنزيوم في الطبقة متبعة بحقن السائل الحمضي الذي يتفاعل مع المغنزيوم وكذلك مع الصخر . يتم اختيار أبعاد حبيبات المغنزيوم بحيث تكون أقل من قطر الفراغات في الطبقة ويتم إدخالها في الطبقة بواسطة النفط حيث يستعمل المغنزيوم بتركيز يتراوح بين 20 - 50 Kg Mg لكل واحد متر مكعب من النفط ، وهذه العملية تتم وفق المراحل الآتية :

Scanned by CamScanner

1- يضخ نفط ساخن في البئر .

2- يضخ النفط الذي يحوي حبيبات المغنزيوم معلقة ضمنه ولكي يدخل الطبقة فإن مواسير التغليف الإنتاجية تغلق على السطح عندما يصل هذا النفط إلى مستوى الطبقة .

3- تضخ كمية من النفط كفاصل عن الحمض .

4- يضخ السائل الحمضي .

5- يضخ نفط بحجم مواسير الإنتاج وحجم مواسير التغليف مقابل الطبقة المنتجة لتأمين دخول السائل الحمضي في الطبقة .

6- يغلق البئر لفترة محددة يتم خلالها التفاعل بين السائل الحمضي من جهة وكل من حبيبات المغنزيوم والصخر من جهة ثانية بعدها تفتح البئر وتوضع مجددا في الإنتاج .

اختيار الآبار التي سيتم معالجتها بالطرق الكيميوحرارية يكون بشكل خاص من الآبار القليلة العمق أقل من 1000 m حيث تتوفر شروط توضع البارافينات عند مستوى الطبقة المنتجة داخل البئر أو حتى داخل الطبقة بجوار جدران البئر .

طريقة التحميض الحراري (استعمال حمض مسخن بتفاعله مع Mg عند مستوى الطبقة) يمكن أن تطبق وبنجاح أيضا في الطبقات العميقة .

Scanned by CamScanner