الإجهادات التي تتعرض لها مواسير التغليف

Stresses which casing pipes exposed to

تتعرّض مواسير التغليف منذ لحظة إنزالها في البئر وحتى الانتهاء من استثمار محتويات المكمن النفطي أو الغازي لمجموعة من الإجهادات التي تؤثّر بشكل منفصل أو موحّد. إنّ تجاوز القيم الحديّة لهذه الإجهادات يسبّب تشوّهاً للمواسير، والذي يمكن أن يؤدي في بعض الأحيان إلى إيقاف العمل في البئر، سواءً أثناء الحفر أو أثناء الإنتاج.

تتميّز الإجهادات التي تتعرض لها مواسير التغليف بأنها ذات طابع سكوني في معظمها (لها قيم ثابتة)، إلاّ في حالات خاصة، حيث تأخذ صفة الديناميكية (التغيّر).

الإجهادات الرئيسية التي تتعرض لها مواسير التغليف هي الآتية[17,12,7,5]:

1 – جهد الشد .

2 – الضغط الخارجي .

3 – الضغط الداخلي .

إضافةً إلى هذه الإجهادات الرئيسية فإن مواسير التغليف تتعرّض لإجهادات أقل أهمية هي الآتية:

آ – جهد الانحناء بتأثير القوى المحورية أو انحناء البئر.

ب – جهد الفتل عند تدويرها لسببٍ ما أثناء الإنزال، أو عند استعمال منظفات عمودية للقشرة الطينية على جدران البئر.

ج – فقدانها للعازلية المحكمة في نقاط الاتصال فيما بينها أو من الجسم.

د – التآكل الميكانيكي بفعل الحبيبات الصلبة الموجودة في سائل الحفر.

هـ – التآكل الكيميائي.

وفيما يلي سوف ندرس هذه الإجهادات: أسبابها، نتائجها، وطرق التقليل منها.

4-1- جهد الشد (Tension or tensile stress):

تتعرّض مواسير التغليف لجهد الشد بصورة دائمة منذ لحظة البدء بإنزالها في البئر. وينشأ هذا الجهد عن قوى مختلفة: ثقل المواسير، قوى الشد المتغيرة (الديناميكية) أثناء الإنزال عند ارتكازها في مناطق الميل لفترات قصيرة ثم تحررها، قوى الشد الإضافية عند معالجة استعصائها . . إلخ.

تتعرّض المواسير نتيجةً لهذا الجهد للتطاول المرن أو اللدن تبعاً لقيمته، وفي شروط معينة تتشوّه مناطق الوصل فيما بينها (يتآكل الشرار وتحل المواسير عن بعضها)، وفي حالاته القصوى يؤدي إلى كسر المواسير، إما في منطقة الشرار أو من الجسم تبعاً لمقاومة كل منهما (وذلك حسب نوع الشرار: عادي أو محسّن). ويمكن تلافي نتائج هذا الجهد باستخدام مواسير تغليف ذات قدرة أكبر على تحمّل جهد الشد، أو على الأقل مساويةً لما سوف تتعرّض له فعلياً عند وجودها في البئر، أي تلك التي تحقق العلاقة الآتية:

$$\sigma_{ad} . A \geq F \qquad (1\text{-}4)$$

حيث إن :

F – قوى الشد الفعلية التي سوف تتعرض لها مواسير التغليف في البئر.

σ_{ad} – المقاومة الحدية التي تتحملها الخليطة المعدنية التي صنعت منها المواسير.

A – مساحة المقطع العرضي لجسم مواسير التغليف، أو في منطقة الشرار.

إن العلاقة (4-1) تسمح باختيار مواسير تقاوم الكسر تحت تأثير جهد الشد. أما من أجل اختيار مواسير تتحمّل جهد الشد في مناطق الوصل (غير القابلة للحل عن بعضها) فيجب أن يتحقق الشرط الآتي :

$$P_{ad} \geq F \qquad (2\text{-}4)$$

حيث إن :

P_{ad} – القوة الحدية التي يتحملها الشرار قبل أن تبدأ المواسير بالحل عن بعضها.

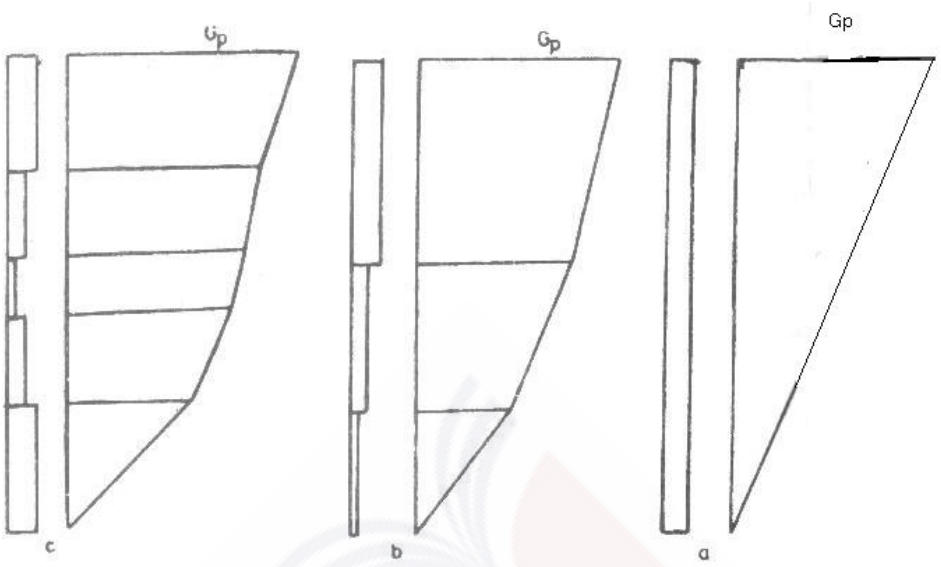
يبلغ جهد الشد قيمته العظمى في القسم الأعلى من مواسير التغليف (على السطح) مهما كان سببه (لاحظ الشكل 4-1).

وفيما يلي سوف نحسب قيمة الشد الناتجة عن مختلف القوى التي تسبّب هذا الجهد.

4-1-1- قوة الشد الناتجة عن وزن مجموعة مواسير التغليف:

هذه القوة تعطى بالعلاقة :

$$W_L = (w_{pe} . L) + e_{wi} \qquad (3\text{-}4)$$



الشكل (4-1): مخطط جهد الشد الذي تتعرض له مواسير التغليف.

a – مواسير تغليف متجانسة لها نفس سماكة الجدار من الأسفل حتى السطح.

b – مواسير تغليف مصمّمة اعتماداً على جهد الشد، حيث تزداد سماكة الجدار باتجاه السطح.

c – مواسير تغليف مصمّمة على إجهادات مركبة (شد + ضغط خارجي).

حيث إن :

W_L– الوزن الكلي لمجموعة مواسير التغليف ذات الطول L (kg).

w_{pe} – وزن واحدة الطول للمواسير باستثناء منطقتي الشرار، وتؤخذ من جداول التغليف، (kgf/m).

e_w – الزيادة أو النقص في وزن واحدة الطول تبعاً لنوع رأس المواسير (kgf). من أجل المواسير المعايرة عند طرفيها تبلغ قيمة هذا الحد ($e_w = 0$).

عند استخدام مواسير تغليف بسماكات جدار مختلفة يتم حساب وزن كل قسم بمفرده، حيث يتميز القسم بسماكة جدار واحدة، ثم تجمع أوزان الأقسام، فنحصل على قوة الشد على النحو الآتي:

$$W_L = \sum_{i=1}^{n} l_i . w_{pi} \qquad (4\text{-}4)$$

حيث إن :

w_{pi}, l_i – طول ووزن واحدة الطول للمواسير في القسم i المتغيّر .

إذا أخذنا في الاعتبار أن مواسير التغليف مغمورة في سائل الحفر الذي يملأ البئر، عندئذٍ فإن قوة الشد يجب أن تصحّح بقيمة معامل الطفو، التي تتبع للوزن النوعي لسائل الحفر. ونبيّن في الجدول (4-1) قيمة معامل الطفو لسائل حفر ذي وزن نوعي في المجال $\gamma_f = 0.70 - 2.25 \ kgf/dm^3$ ، وبفرض أن الوزن النوعي لمعدن المواسير $\gamma_0 = 7.850 \ kgf/dm^3$

الوزن النوعي لسائل الحفر γ_f , kgf/dm^3	قيمة معامل الطفو b	الوزن النوعي لسائل الحفر γ_f , kgf/dm^3	قيمة معامل الطفو b
0.70	0.91084	1.50	0.80894
0.75	0.90447	1.55	0.80257
0.80	0.89810	1.60	0.79620
0.85	0.89173	1.65	0.78983
0.90	0.88536	1.70	0.78347
0.95	0.87899	1.75	0.77710
1.00	0.87263	1.80	0.77073
1.05	0.86626	1.85	0.76436
1.10	0.85989	1.90	0.75799
1.15	0.85252	1.95	0.75162
1.20	0.84715	2.00	0.74525
1.25	0.84078	2.05	0.73888
1.30	0.83441	2.10	0.73252
1.35	0.82805	2.15	0.72615
1.40	0.82168	2.20	0.71972
1.45	0.81531	2.25	0.71341

الجدول (1-4)

يجب التنبيه إلى ضرورة إهمال عامل الطفو في الآبار الاستكشافية، لأنه لا يمكن التأكد من بقاء المواسير مغمورة في السائل (يؤخذ في الاعتبار احتمال حدوث تسرب شديد لسائل الحفر في الطبقات غير المدروسة جيداً).

تتعرض مواسير التغليف لقوة شد إضافية أثناء إنزالها في البئر، والتي تنتج عن تسارعها واحتكاكها مع جدران البئر. يضاف إلى ذلك قوى شد متغيرة (ديناميكية) عند ارتكاز حذاء مواسير التغليف في مناطق الميل أو التضيق ثم تحرره بشكل مفاجئ[29,24,23,5].

قوة الشد التي يتعرض لها الجزء العلوي من مواسير التغليف تعطى في مثل هذه الحالات بالعلاقة الآتية:

$$F_1 = W_L(1+\frac{v_i}{t_i.g}-f) \qquad (5\text{-}4)$$

حيث إن :

v_i ـ سرعة إنزال مواسير التغليف في البئر.

t_i ـ الزمن الذي تتغير خلاله سرعة الإنزال (التسارع عند بداية ونهاية إنزال كل ماسورة).

f – معامل احتكاك مواسير التغليف مع جدران البئر.

g – تسارع الجاذبية الأرضية .

إذا تم رفع مواسير التغليف لسبب ما ولمجال معين فإن العلاقة (4-5) تستخدم بالصيغة الآتية:

$$F_2 = W_L(1+\frac{v_e}{t_e.g}+f) \qquad (6\text{-}4)$$

V_e – سرعة رفع مواسير التغليف من البئر.

t_e – الزمن الذي تتغير خلاله سرعة الرفع (التسارع عند بداية ونهاية رفع كل ماسورة).

إن قوة احتكاك المواسير مع جدران البئر تعاكس الحركة (فهي سالبة في حالة الإنزال وموجبة أثناء الرفع)، وتحسب بالعلاقة الآتية:

$$F_{fr} = \mu.\sum_{i=1}^{n} l_i.w_i.\sin\alpha_i \qquad (7\text{-}4)$$

نلاحظ من العلاقة (4-7) أن قوة الاحتكاك تزداد مع ارتفاع زاوية ميل البئر عن الاتجاه الشاقولي α_i . قوة الشد الإضافية المتغيرة التي تتولد عند تحرر حذاء مواسير التغليف بعد استناده في منطقة التضيق أو الميل يمكن حسابها بالعلاقة الآتية :

$$F_3 = W_L\left(1+\sqrt{1+\frac{6E.h}{(\gamma_0-\gamma_f).L^2}}\right) \qquad (4\text{-}8)$$

E – معامل المرونة الطولي للمواسير.

h – الارتفاع الذي تسقط خلاله المواسير بشكل حر ومفاجئ بعد تحررها.

تتعرض مواسير التغليف – إضافةً إلى ما ذكر – لقوة شد ثانوية تتولد عن اصطدام الفاصل الإسمنتي الثاني مع حلقة الصد في نهاية عملية السمنتة. قوة الشد في هذه الحالة تحسب على النحو الآتي :

$$F_4 = W_L + F_S \qquad (4\text{-}9)$$

F_S – قوة شد إضافية تمثل قوة اصطدام الفاصل الإسمنتي الثاني مع حلقة الصد، وتحسب بالعلاقة:

$$F_S = P_S.A_o = P_S.\frac{\pi}{4}.d_i^2 \qquad (4\text{-}10)$$

A_o – مساحة المقطع الداخلي لمواسير التغليف (cm^2).

di – القطر الداخلي لمواسير التغليف (cm).

P_S – الارتفاع الذي يسجله الضغط لحظة اصطدام الفاصل الإسمنتي الثاني مع حلقة الصد، ويعين بالعلاقة:

$$P_S = \rho.C.V_o$$

ρ – كثافة سائل الإزاحة الذي يضخ بعد الخلطة الإسمنتية (kgf/cm^3).

Vo – سرعة الجريان الوسطية للسوائل داخل مواسير التغليف قبل استناد الفاصل الإسمنتي الثاني على حلقة الصد (cm/s).

C – سرعة الانتشار للارتفاع الذي يسجله الضغط (cm/s)، هذه السرعة من أجل الأنابيب الاسطوانية تعطى بالعلاقة:

$$C = \sqrt{\frac{E_f}{(1 + \frac{E_f}{E_o} \cdot \frac{D}{t}}} \qquad (11\text{-}4)$$

E_f – معامل مرونة السائل الذي يملأ مواسير التغليف. قيمة هذا المعامل من أجل الماء تساوي ($E_f = 2.07 \times 10^4$ kgf/cm^2)، ويمكن استخدام هذه القيمة من أجل سائل الحفر أيضاً.

Eo – معامل المرونة لمعدن مواسير التغليف .

t, D – قطر وسماكة الجدار الوسطيين لمواسير التغليف (cm).

4-1-2- قوى الشد الناتجة عن الضغط الداخلي:

عند ارتفاع الضغط داخل مواسير التغليف المثبتة من طرفيها فإن قطرها يتجه للتزايد على حساب الطول، أي تنقل إلى طرفيها (نقاط الوصل فيما بينها بشكل خاص قوى شد ثانوية، تضاف إلى قوة الشد الرئيسية المتسببة عن ثقل المواسير. تبرز قوى الشد الثانوية هذه في نهاية عملية السمنتة، وكذلك عند متابعة العمل خلال المواسير المثبتة بالإسمنت من الأسفل، والمتصلة مع المواسير السابقة من الأعلى، وذلك على النحو الآتي[29,5]:

آ – عند استمرار ضخ سائل الإزاحة بعد توضع الفاصل الإسمنتي الثاني على حلقة الصد:

في هذه الحالة فإن الضغط داخل المواسير يسجل تزايداً حاداً. قوة الشد الثانوية المتولدة عن ارتفاع الضغط الداخلي بسبب الاستمرار بضخ سائل الإزاحة تحسب باستخدام العلاقة الآتية:

$$F_P = \sigma_S . A_b \qquad (12\text{-}4)$$

حيث إن:

σ_S - جهد الشد المماسي باتجاه المحور.

A_b – مساحة المقطع العرضي للمواسير.

وهنا يوجد لدينا حالتان:

1 - مواسير التغليف ذات سماكة جدار كبيرة ($\frac{D}{t} \langle 14$):

وتتوافق مع شروط استخدام علاقة لامي (Lame)، عندئذٍ فإن جهد الشد المماسي المحوري يعطى بالعلاقة الآتية:

$$\sigma_S = \frac{D_i^2}{D_e^2 - D_i^2}.P_i \qquad (13\text{-}4)$$

Di, De - القطر الخارجي والقطر الداخلي على التوالي لمواسير التغليف (cm).

وبالتالي تصبح قوة الشد:

$$F_P = \frac{D_i^2}{D_e^2 - D_i^2}.P_i.A_b \qquad (14\text{-}4)$$

مساحة المقطع العرضي للمواسير (A_b) تحسب على الشكل الآتي :

$$A_b = \frac{\pi}{4}(D_e^2 - D_i^2) \qquad (15\text{-}4)$$

وتكون قوة الشد الثانوية التي تنشأ في نهاية عملية السمنتة بسبب استمرار ضخ سائل الإزاحة:

$$F_P = \frac{\pi}{4} D_i^2.P_i \qquad (16\text{-}4)$$

2 – مواسير التغليف ذات سماكة جدار صغيرة ($\frac{D}{t}\rangle 14$):

قيمة جهد الشد المماسي المحوري تعطى بالعلاقة الآتية :

$$\sigma = \frac{D_e}{4t}.P_i \qquad (17\text{-}4)$$

t – سماكة جدار مواسير التغليف (cm).

بتعويض كل من مساحة المقطع العرضي للمواسير (A_b) وجهد الشد المماسي بقيمها من العلاقتين (4-15)، (4-17) في العلاقة (4-16) نجد :

$$F_P = \frac{\pi}{4}.D_e(D_e - t).P_i \qquad (18\text{-}4)$$

وذلك لأن :

$$D_e - D_i = 2t$$

ب – عند ارتفاع الضغط الداخلي لسبب ما بعد تثبيت مواسير التغليف بالإسمنت من الأسفل ومع المواسير السابقة على السطح:

في هذه الحالة فإن الجزء الحر (غير المسمنت) من المواسير يتعرض لقوة شد ثانوية تحسب بالعلاقة الآتية:

$$\varepsilon_Z = \mu.\frac{\sigma_t}{E} \qquad (19\text{-}4)$$

حيث إن:

μ – معامل بواسون .

бt – جهد الشد المماسي عند جسم الماسورة، والمتسبب عن الضغط الداخلي (ΔP=Pi-Pe)

إذا فرضنا أن مواسير التغليف ذات سماكة جدار صغيرة ($\frac{D}{t}\rangle 14$) فإن جهد الشد المماسي يعطى بالعلاقة:

$$\sigma_t = \frac{\Delta P - D_e}{2t} \qquad (20\text{-}4)$$

إذا عوضنا في العلاقة (18-4) القيم الآتية :

$$A_b = \frac{g_m}{\gamma_o}.10^4 cm^2; \mu = 0.3; \sigma_S = \frac{F_P}{A_b}; \varepsilon_Z = \frac{\sigma_S}{E}$$

$$E = 2.1x10^6 kgf/cm^2; \gamma_0 = 7.85 kgf/cm^3$$

فإننا نحصل على قوة الشد الثانوية على الشكل الآتي:

$$F_P = 0.191.W_m \frac{D}{t_m}.\Delta P \qquad (21\text{-}4)$$

Wm ، tm – وزن واحدة الطول الوسطية وسماكة الجدار الوسطية لمواسير التغليف.

4-1-3- قوة الشد الإضافية الناتجة عن تغير درجة الحرارة :

تتعرض مواسير التغليف المثبتة من طرفيها للتقلص عند تناقص درجة الحرارة في البئر (عند ضخ سائل مبرّد لتحقيق هدف معين)، أي أن الجزء الحر (غير المسمنت) سوف يتعرّض لقوة شد ثانوية (يجب التنويه إلى أنه عند ارتفاع درجة الحرارة فإن المواسير تتعرض للتمدد، الذي يسبب ظهور قوى انضغاط محورية عند طرفي الجزء الحر).

يمكن تحديد تغيّر طول مواسير التغليف أثناء التقلص أو التمدد بالعلاقة:

$$\Delta L = \pm \alpha.L.\Delta t \qquad (24\text{-}4)$$

حيث إن :

α – معامل التمدد الحراري الخطي للمواسير .

Δt – مقدار التغير في درجة الحرارة (C˚) :

$$\Delta t = t_C - t_P$$

ΔL – مقدار التطاول أو التقلص الذي تتعرض له مواسير التغليف ذات الطول L عندما تتغير درجة الحرارة بمقدار Δt

tc – درجة الحرارة الوسطية لمواسير التغليف قبل استبدال السائل داخلها (C˚).

tp – درجة حرارة السائل الجديد (C˚).

قيمة قوة الشد الثانوية التي يسببها التقلص (والتي تضاف إلى قوة الشد الرئيسية) تحسب بالعلاقة:

$$F_t = \sigma_{Zt}.A_b = \frac{\Delta L}{L}.E.A_b = E.\alpha.\Delta t.A_b \qquad (23\text{-}4)$$

A_b – مساحة المقطع العرضي للموايير (cm^2).

E – معامل المرونة الطولي لمعدن المواسير (kgf/cm^2).

إذا عوضنا في العلاقة (4-23) القيم الآتية:

$\alpha = 0.119 \times 10^{-4}$, $E = 2.1 \times 10^{6}\ kgf/cm^2$

وفي المجال C° 100 – 0 فإن :

$$\gamma_0 = 7850 kgf/m^3, A_b = \frac{W_m}{\gamma_o}.10^4 cm^2$$

Wm – الوزن الوسطي لواحدة الطول للجزء الحر من مواسير التغليف.

فإننا نحصل على قوة الشد الثانوية التي يولّدها التقلّص:

$$F_t = 31.9 W_m.\Delta t \qquad (24\text{-}4)$$

عندما يضخ السائل المبرّد تحت ضغط داخل المواسير – لدفعه للدخول إلى الطبقة – فإن قوة الشد الثانوية تساوي إلى مجموع القوتين السابقتين، أي:

$$F_S = F_P + F_t = 0.191.W_m \frac{D}{t_m}.\Delta P + 31.9 W_m.\Delta t \qquad (25\text{-}4)$$

4-1-4 – قوى الشد الإضافية الناتجة عن انحناء البئر:

تنحني مواسير التغليف التي تنزّل في بئر فقدت شاقوليتها، وخصوصاً في مناطق تغيّر زاوية الميل وزاوية السمت. وتزداد قيمة الانحناء مع ازدياد زاوية الميل.

تتعرّض مواسير التغليف لقوة شد إضافية نتيجة الانحناء، والتي تعيّن من أجل تحديد إمكانية إنزالها في البئر. ويجب التنويه إلى أن الجزء الخارجي من المواسير هو الذي يتعرّض لقوى الشد (في مناطق الميل)، في حين أن الجزء الداخلي يتعرّض لقوى انضغاط.

لتعيين قوة الشد الإضافية المتسببة عن الانحناء يمكن استخدام العلاقة الآتية:

$$F_i = \frac{\varphi}{l_a}.\frac{\pi}{180}.\frac{E.D}{2}.A_b \qquad (26\text{-}4)$$

حيث إن :

φ – زاوية انحراف البئر عن الوضع الشاقولي (تؤخذ الزاوية الأكبر ضمن المجال الذي سيغلّف).

la – طول المجال الذي تتغيّر خلاله زاوية الميل.

4-2- جهد الانضغاط المحوري (Axial compression stress):

تتعرّض مواسير التغليف للانضغاط المحوري (أي لقوى موازية لمحورها وتعاكس قوى الشد) في حالات قليلة نذكر منها[29,5]:

1 – عند استنادها على قاع البئر أو في مناطق التضيّق، وكذلك في المناطق التي تتغيّر فيها زاوية الميل بشدة.

2 – عند ارتفاع الضغط في الفراغ الحلقي خارج الجزء غير المسمنت، وكذلك عند ارتفاع درجة حرارة مواسير التغليف المثبّتة بالإسمنت من الأسفل، ومع المواسير السابقة على السطح.

يؤثّر جهد الانضغاط على الجزء السفلي من مواسير التغليف عند الاستناد، وعلى الجزء الذي يلي الإسمنت خارج المواسير عند تعرّضها لارتفاع في الضغط خارجها، أو لدرجات الحرارة.

تتعرّض المواسير للانحناء الطولي بسبب قوى الانضغاط وتستند على جدران البئر بعدد من المناطق، وذلك تبعاً لطول الجزء المعرّض لهذا الجهد. يمكن إهمال تأثير تعرّض المواسير لهذا الجهد بسبب الفراغ القليل بينها وبين جدران البئر.

4-3- جهد الانحناء الطولي (Bending stress):

تتعرّض مواسير التغليف للانحناء الطولي عند إنزالها في بئر منحنية تأخذ شكل قوس دائري. قيمة جهد الانحناء الذي تتعرّض له المواسير يحدّد بالعلاقة الآتية[29،5]:

$$\sigma_b = \frac{E.D}{2R_o} \qquad (27\text{-}4)$$

حيث إن :

R_o – نصف قطر انحناء البئر.

D – القطر الخارجي عند الجسم لمواسير التغليف.

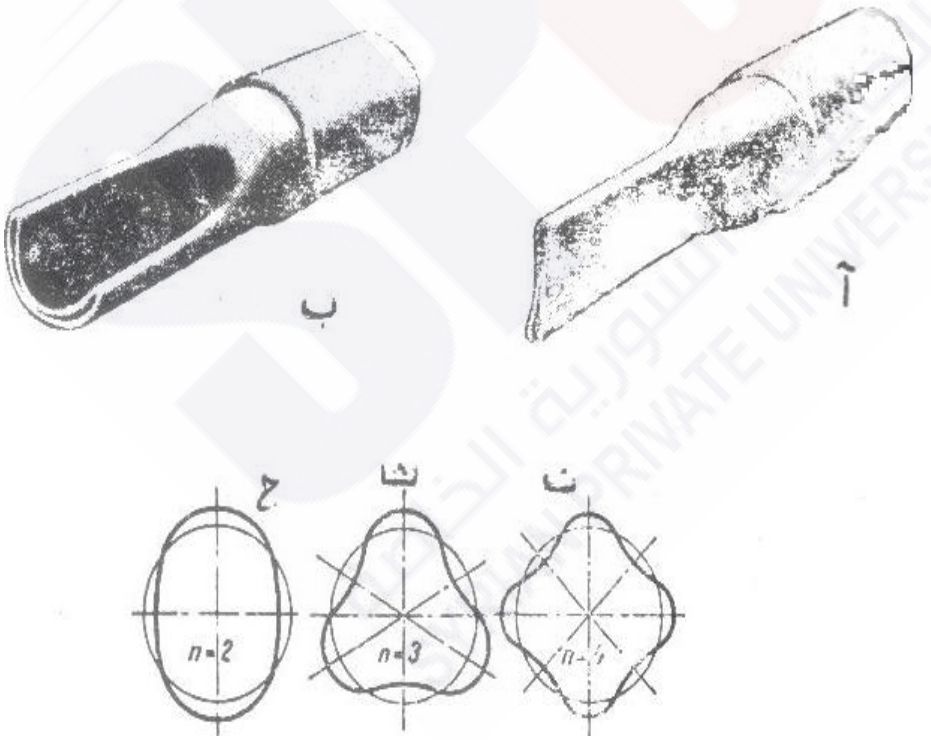
E – معامل مرونة الخليطة المعدنية المصنوعة منها المواسير.

يشكّل جهد الانحناء الطولي قوة شد تضاف إلى قوة الشد الأساسية الناتجة عن وزن مواسير التغليف، وترفع من احتمال كسرها أو حلّها عن بعضها من مناطق الوصل.

إذا كان انحراف البئر كبيراً (نصف قطر الانحناء صغيراً)، والذي يعرف بالتغيّر المفاجئ لمنحني البئر، فإن مواسير التغليف سوف تستند على جدران البئر، مع زيادة احتمال تشوّهها بفعل قوى الاحتكاك ووزن المواسير الكائنة أسفل منطقة الاستناد، خاصةً إذا كانت منطقة الاستناد بعيدةً عن قاع البئر .

4-4- الضغط الخارجي (External Pressure):

تتعرّض مواسير التغليف للضغط الخارجي عندما يكون الضغط في الفراغ الحلقي خارجها أكبر من الضغط داخلها. ويؤدي هذا الفرق في الضغط عند تجاوزه المقاومة الحدية إلى تقوّض مواسير التغليف بشكل كامل أو جزئي، الشكل (4-2).



الشكل (4-2): تقوّض مواسير التغليف بتأثير الضغط الخارجي .

آ ، ب – تقوّض كامل. ت ، ث ، ج – تقوّض جزئي.

تقسم مسبّبات ارتفاع الضغط خارج مواسير التغليف إلى مجموعتين:

1 – ارتفاع ضغط عمود السائل خارج المواسير.

2 – انهيار جدران البئر على مواسير التغليف.

وفيما يلي سوف ندرس هاتين المجموعتين من مسبّبات ارتفاع الضغط الخارجي[30,28,5].

4-4-1- مجموعة الأسباب الناتجة عن ارتفاع ضغط عمود السائل :

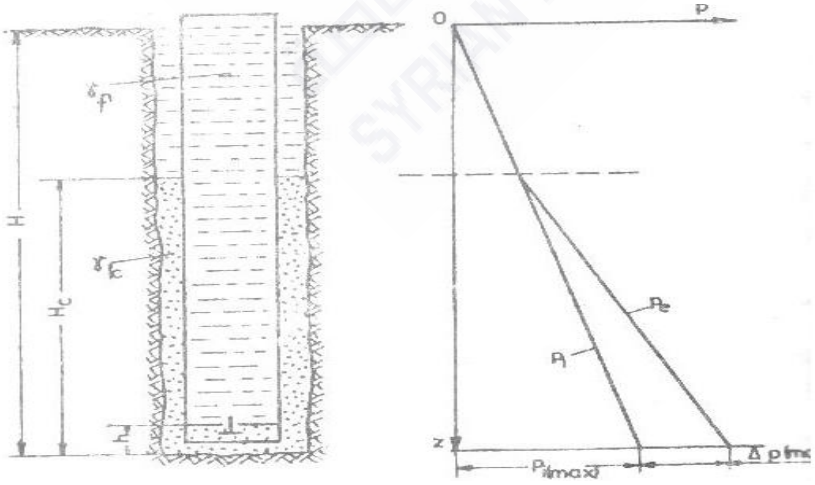
تقسم هذه المجموعة من المسبّبات إلى قسمين: أحدهما ناتج عن اختلاف في الوزن النوعي، أي عندما يكون الوزن النوعي للسائل الموجود خارج المواسير أكبر من الوزن النوعي للسائل داخلها، والثاني ناتج عن اختلاف في ارتفاع السوائل، أي عندما يكون طول عمود السائل في الفراغ الحلقي أكبر من طول عمود السائل داخل المواسير. ويمكن أن تجتمع مسببات المجموعتين مع بعضهما في حالات خاصة.

4-4-1-1- الضغط الخارجي الناتج عن الاختلاف في الوزن النوعي للسائل خارج المواسير وداخلها:

تتعرّض مواسير التغليف للضغط الخارجي الناتج عن اختلاف الوزن النوعي للسائل خارج المواسير عن وزن ذلك الموجود داخلها في حالات عديدة نذكر منها الآتي:

1 – عند الانتهاء من عملية الإسمنت:

تتعرّض مواسير التغليف للضغط الخارجي في هذه الحالة عندما تفتح على السطح بهدف تخفيف الارتفاع في الضغط الداخلي الذي يحدث عند متابعة الضخ بعد توضع الفاصل الإسمنتي الثاني على حلقة الصد، وذلك بعد الانتهاء من ضخ سائل الإزاحة، لأن الضغط في الفراغ الحلقي يتشكّل من عمود السائل الإسمنتي، إضافةً إلى ما تبقّى من عمود سائل الحفر، في حين أن الضغط داخل المواسير يتشكّل من عمود سائل الإزاحة ذي الوزن النوعي الأقل دائماً من الوزن النوعي للسائل الإسمنتي. يستمر تأثير الضغط الخارجي في هذه الحالة حتى يبدأ السائل الإسمنتي بالتصلّب. ونبيّن في الشكل (3-4) تحوّل الضغط الخارجي والداخلي أثناء عملية الإسمنت.



الشكل (4-3): تحوّل الضغط الخارجي والداخلي أثناء سمنتة مواسير التغليف.

Pi– الضغط الداخلي، Pe– الضغط الخارجي، Pimax– الضغط الداخلي الأعظمي،

ΔPmax- فرق الضغط ما بين خارج المواسير وداخلها.

يلاحظ من الشكل السابق أن القيمة العظمى لفرق الضغط تسجّل عند نهاية مواسير التغليف، والتي يمكن تحديدها بالعلاقة الآتية، وذلك بإهمال وجود الإسمنت داخل المواسير بارتفاع يساوي بعد حلقة الصد عن النهاية السفلى للمواسير (h):

$$P_{\max} = H_C(\gamma_{fC} - \gamma_f) \qquad (28\text{-}4)$$

حيث إن :

γ_{fc} – الوزن النوعي للسائل الإسمنتي.

γ_f – الوزن النوعي لسائل الحفر، بفرض أنه سائل الإزاحة.

H_c – ارتفاع الإسمنت خارج مواسير التغليف.

2 – عند الاستمرار بالحفر من خلال مواسير التغليف:

يتابع الحفر من خلال مواسير التغليف للمرحلة السطحية ، وكذلك الوسطية بعد الانتهاء من سمنتتها وتثبيتها على السطح.

تتعرّض مواسير التغليف التي يتابع الحفر من خلالها لضغط خارجي ناتج عن الفرق في الأوزان النوعية للسوائل عند استخدام سائل حفر بوزن نوعي أقل من الوزن النوعي لسائل الحفر الموجود خارجها فوق الإسمنت المتصلّب (في المراحل الوسطية فقط، لأن المواسير السطحية تسمنت باستمرار حتى السطح).

3 – أثناء حدوث الاندفاعات الحرة:

تتعرّض مواسير التغليف لضغط خارجي ناتج عن الفرق في الأوزان النوعية للسائل الموجود خارجها عن ذلك الذي يملؤها عند حدوث اندفاع للمركبات الهيدروكربونية (نفط أو غاز) أثناء متابعة الحفر من خلالها، خاصةً إذا لم نتمكّن من السيطرة على البئر (عدم إغلاق أجهزة منع الانفجار) واستمرّت مفتوحة، لأن الوزن النوعي للنفط أو الغاز هو أقل بكثير من الوزن النوعي لسائل الحفر.

4 – عند وضع البئر في الإنتاج:

من الطرق المتبعة لوضع الطبقة الخازنة في الإنتاج تغيير سائل الحفر الذي استخدم أثناء اختراقها بسائل ذي وزن نوعي أقل (ماء، نفط، سائل مهوّى . . . إلخ)، أي أنه يتم تقليل الضغط داخل مواسير التغليف إلى ما دون الضغط

الطبقي، في حين أن الضغط خارجها أكبر. تتعرّض مواسير التغليف أثناء ذلك لضغط خارجي ناتج عن الفرق في الأوزان النوعية للسوائل.

5 – أثناء الإنتاج:

كي تستمر عملية الإنتاج يجب أن يكون الضغط داخل البئر (داخل مواسير التغليف الإنتاجية) عند مستوى الطبقة الخازنة أقل من الضغط الطبقي. ومن المعلوم أنه كلما كان الفرق بين الضغطين أكبر، زادت كمية الإنتاج من النفط. ومع استخراج كميات متزايدة من الموائع الطبقية فإن الضغط الطبقي ينخفض، وتبعاً لذلك يجب إنقاص الضغط داخل المواسير أيضاً. وبالتالي فإن مواسير التغليف الإنتاجية تتعرّض لضغط خارجي ناتج عن الفرق في الأوزان النوعية للسوائل طيلة فترة الإنتاج الذاتي للمكامن النفطية، لأن الوزن النوعي للسائل الموجود خارجها يحقق ضغطاً أكبر من الضغط الطبقي، في حين أن الوزن النوعي للموائع داخل المواسير (نفط، ماء، غاز) قليل. يجب التنويه إلى أن الجزء الحر فقط من المواسير المثبتة يتعرّض للضغط الخارجي في كل الحالات المذكورة سابقاً.

4-4-1-2- الضغط الخارجي الناتج عن الاختلاف في ارتفاعات السوائل خارج المواسير وداخلها:

تتعرّض مواسير التغليف لضغط خارجي ناتج عن انخفاض مستوى السائل داخلها في الوقت الذي يحافظ فيه سائل الحفر خارجها على مستواه (حتى السطح) في حالات عديدة نذكر منها الآتي:

1 – عند إنزال مواسير التغليف بحذاء مركّب أو بحلقة صدّ مركبة :

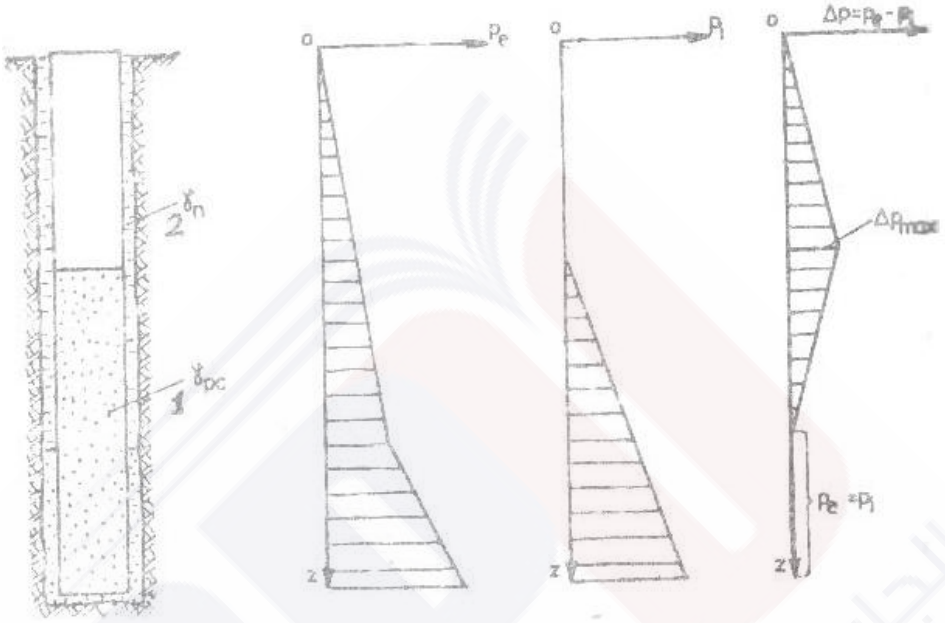
عند استعمال أحد هذين العنصرين أو كلاهما معاً فإن مواسير التغليف تبقى فارغة كلياً أثناء إنزالها في البئر. تجري تعبئتها بين حينٍ وآخر للتقليل من الضغط الذي تتعرّض له، أي أنها تتعرّض لضغط خارجي ناتج عن الفرق في طول عمود السائل خارجها (الذي يبقى ثابتاً) وداخلها .

2 – عند إنزال الفاصل الإسمنتي الثاني :

بعد الانتهاء من ضخ كمية الإسمنت المقررة داخل مواسير التغليف، يفكّ رأس السمنتة، وينزّل الفاصل الإسمنتي الثاني للفصل بين الإسمنت وسائل الإزاحة، ثم يعاد ربط رأس السمنتة، بعد ذلك يتم البدء بضخّ سائل الإزاحة. إذن يحدث توقّف عن الضخ لإنزال هذا الفاصل، وذلك لزمن يتبع لنوع رأس السمنتة. خلال هذا التوقّف عن الضخ تستمر حركة السائل الإسمنتي داخل المواسير، حيث يكون الضغط أكبر من قيمته في الفراغ الحلقي (بسبب ارتفاع الوزن النوعي للسائل الإسمنتي)، أي يحدث إفراغ جزئي لمواسير التغليف، ويتعرض الجزء المفرّغ لضغط خارجي، تكون قيمته عظمى فوق مستوى السائل الإسمنتي داخل المواسير مباشرةً (لاحظ الشكل 4-4).

3 – أثناء تسرّب سائل الحفر في الطبقة :

تتعرّض مواسير التغليف المسمنتة والمثبتة على السطح لضغط خارجي أثناء متابعة الحفر من خلالها وحدوث تسرّب كلي لسائل الحفر في الطبقة (تفرّغ البئر بشكل كلي أو جزئي) وذلك في الآبار الاستكشافية، لأن مستوى السائل ينخفض داخل المواسير، في حين يبقى خارجها ثابتاً وحتى السطح.



الشكل (4-4): إفراغ مواسير التغليف أثناء إنزال الفاصل الإسمنتي الثاني.

1 – إسمنت. 2 – سائل حفر.

Pe – ضغط خارجي. Pi –ضغط داخلي.

4 – أثناء وضع البئر في الإنتاج :

يتم وضع الطبقة الخازنة في الاستثمار أحياناً بإنقاص مستوى السائل داخل مواسير التغليف الإنتاجية (باستعمال مضخة جوفية) حتى يصبح الضغط داخل البئر عند مستوى الطبقة الخازنة أقل من الضغط الطبقي (حتى يلاحظ بدء دخول الموائع الطبقية إلى البئر)، أي أن مواسير التغليف الإنتاجية تفرغ جزئياً من سائل الحفر، وبالتالي تتعرّض لضغط خارجي يسببه اختلاف مستوى السائل في الفراغ الحلقي عنه داخل المواسير. القيمة العظمى لهذا الفرق في الضغط تكون فوق مستوى السائل في المواسير.

5 – أثناء الإنتاج من البئر :

ينخفض الضغط الطبقي باستمرار أثناء الإنتاج مع سحب كميات متزايدة من الموائع الطبقية، إذا لم تعوّض هذه الموائع بحقن الماء أو الغازات للمحافظة على الضغط الطبقي. يصل هذا الضغط بعد زمن ما (تبعاً لطريقة الإنتاج وخصائص

المكمن) إلى قيم غير كافية لرفع النفط إلى السطح، عندها يتم اعتماد طرق إنتاج ميكانيكية (الضخ، الرفع بالغاز . .) أي أن مستوى النفط في البئر (سواءً السكوني أو الديناميكي) يستمر في التناقص، ويصل في المراحل النهائية من الإنتاج إلى القرب من مستوى الطبقة الخازنة. نتيجةً لذلك تتعرّض مواسير التغليف الإنتاجية لضغط خارجي ناتج عن الإفراغ المستمر لها، في الوقت الذي يبقى مستوى سائل الحفر الذي استعمل أثناء إنجاز البئر ثابتاً في الفراغ الحلقي خارجها، ويصل حتى السطح.

6 – أثناء رفع مجموعة مواسير الحفر بسرعة كبيرة :

تتعرّض مواسير التغليف لإفراغ جزئي أثناء رفع مجموعة مواسير الحفر بسرعات كبيرة، وبشكل خاص عند تشكّل لبادة من الطين على رأس الحفر، أي أثناء الحفر ضمن صخور طرية، حيث يقوم رأس الحفر أثناء الرفع بدور مكبس، ومجموعة المواسير بدور ذراع للمكبس، مفرغاً البئر بشكل جزئي، وأحياناً بشكل كلي، ومعرِّضاً مواسير التغليف التي يتابع الحفر من خلالها لضغط خارجي، ناتج عن الفرق في مستوى السائل في الفراغ الحلقي عنه داخل المواسير.

في جميع الحالات المذكورة سابقاً فرضنا أن مواسير التغليف تتعرّض لضغط خارجي، ناتج عن الفرق بين ضغط عمود السائل الموجود خارجها في الفراغ الحلقي وضغط السائل داخلها (أي بتأثير ضغط سائل الحفر الذي استخدم قبل إنزال مواسير التغليف).

من دراسة الحالات المذكورة سابقاً يتبيّن لنا أن القيم العظمى للضغط الخارجي الذي تتعرّض له مواسير التغليف تقابل وضعية إنزالها بنهاية مغلقة (بصمام وحيد الاتجاه)، وكذلك أثناء الإنتاج، عند انخفاض مستوى السائل كثيراً داخل المواسير في المراحل النهائية

للاستثمار. هذه القيمة للضغط الخارجي تحدّد بالعلاقة الآتية:

$$P_C = H \cdot \gamma_f \qquad (29\text{-}4)$$

حيث إن :

H - عمق النقطة التي يحسب عندها الضغط الخارجي.

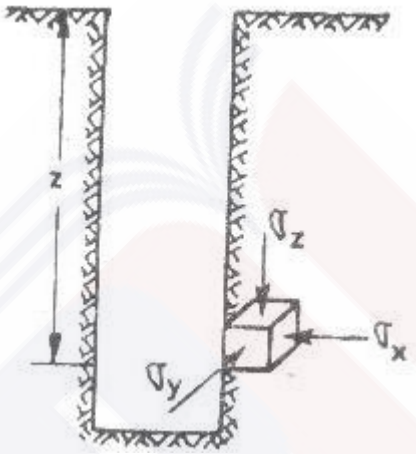
γ_f – الوزن النوعي لسائل الحفر الذي استعمل أثناء التغليف.

4-4-2- الضغط الخارجي الناتج عن انهيار جدران البئر :

تتعرّض مواسير التغليف لضغط خارجي من قبل الصخور في حالات معينة عندما يحصل انهيار لجدران البئر.

عندما تتكون جدران البئر من صخور عالية اللدونة فإنها تنهار بتأثير الصخور التي تعلوها، أما عندما تكون ضعيفة التماسك فإنها تنهار بفعل سائل الحفر، أو فاقد الرشح لهذا السائل، حيث يقللان من تماسك الصخور.

إذا فرضنا طبقة صخرية متجانسة في جميع الاتجاهات، فإن الضغط الجيولوجي السكوني يولّد ضغطاً جانبياً (الشكل 5-4).



الشكل (5-4): الجهد النظامي الذي تولّده الصخور.

قيمة الجهد العمودي الذي يؤثّر على عنصر ما من الطبقة الصخرية المفترضة، والناتج عن الضغط الجيولوجي السكوني تحدد من العلاقة الآتية:

$$\sigma_Z = P_Z = \gamma_m . Z \qquad (30\text{-}4)$$

حيث إن :

Z – عمق العنصر المفترض (m).

γ_m – الوزن النوعي الوسطي للصخور المتواجدة فوق العنصر وبسماكة Z .

أما قيمة الجهد الجانبي، والذي يؤثر كضغط خارجي على مواسير التغليف فتحدد بدورها بالعلاقة الآتية:

$$\sigma_X = \sigma_Y = \frac{\mu}{1-\mu} . \varpi_Z \qquad (31\text{-}4)$$

حيث إن : μ – معامل بواسون للصخر المفترض.

إذن : الضغط الجانبي الخارجي الذي تتعرّض له مواسير التغليف يعيّن على الشكل الآتي:

$$P_e = \frac{\mu}{1-\mu} \cdot \gamma_m \cdot Z \qquad (32\text{-}4)$$

يظهر تأثير هذا الضغط عندما تكون قيمته أكبر من الضغط الذي يشكّله عمود سائل الحفر الموجود في الفراغ الحلقي خارج المواسير (Pe > Pi)، أو $\frac{\mu}{1-\mu} \cdot \gamma_m > \gamma_f$

الصخور التي تعرّض مواسير التغليف لهذا الضغط تتميّز بلدونتها العالية. ومن الأمثلة على هذه الصخور يمكن أن نذكر: الصخور الغضارية، والملح الصخري، اللذان يتميزان بمعامل بواسون أكبر بكثير من بقية أنواع الصخور، حيث أن:

قيمة معامل بواسون للغضار اللدن : $\mu = 0.38 - 0.45$

وللملح الصخري $\mu = 0.44$

في الوقت الذي تتراوح قيمته للكالسيت $\mu = 0.28 - 0.33$

وللشيست $\mu = 0.10 - 0.20$

إن دخول سائل الحفر أو فاقد الرشح في الصخر الغضاري يرفعان من لدونته، وبالتالي من قدرته على توليد ضغط جانبي أكبر عند جدران البئر.

إذا فرضنا أن الوزن النوعي الوسطي للصخور $\gamma_m = 2.3\ kgf/dm^3$ فإن مواسير التغليف تتعرض لضغط خارجي من قبل الصخر (ناتج عن انهيار جدران البئر) في الحالات الآتية، وذلك بفرض قيم معامل بواسون المذكورة سابقاً:

1- إذا كان الوزن النوعي لسائل الحفر $\gamma_f < 1.41 - 188\ kgf/dm^3$ أثناء اختراق الصخور الغضارية.

2- إذا كان الوزن النوعي لسائل الحفر $\gamma_f < 1.81\ kgf/dm^3$ أثناء اختراق الملح الصخري.

ويتميز الضغط الخارجي الناتج عن انهيار جدران البئر بشدة تعقده، وبأن قيمته تعتمد كثيراً على الزمن، إذ أن معظم حالات تعرّض مواسير التغليف لهذا الجهد تحدث أثناء الإنتاج من البئر، أي بعد زمن كبير من إنزال مواسير التغليف فيها. إذن لا يمكن تحديد زمن تعرّض مواسير التغليف لهذا الجهد وكذلك قيمته ومدى المقاومة التي تملكها المواسير عند تعرّضها له، ولذلك، ولتلافي المشاكل التي يسببها هذا الجهد (تقوّض مواسير التغليف على أنابيب الإنتاج وقضبان الضخ في حال وجودها في البئر) تتم حماية مواسير التغليف برفع الإسمنت في الفراغ الحلقي خارجها، بحيث تتم تغطية كل الطبقات التي يمكن أن تسبب مثل هذا الانهيار بوجود سائل الحفر داخلها.

4-5- الضغط الداخلي الذي تتعرض له مواسير التغليف (Internal pressure) :

تتعرّض مواسير التغليف للضغط الداخلي عندما تكون قيمة ضغط السائل الموجود داخلها أكبر من قيمة ضغط السائل الموجود في الفراغ الحلقي خارجها. يؤدي هذا الضغط عندما تكون قيمته أكبر من المقاومة الحدية للمواسير (والتي تعتمد

على الأبعاد العرضية لجسم المواسير: القطر، سماكة الجدار، وعلى نوع المعدن المصنوعة منه) إلى ظهور تشققات طولانية على جسمها، وبأطوال تتراوح من 0.5 m حتى 2 m ، أو إلى كسرها، حيث يرافق ظهور التشقق والكسر زيادة في قطر المواسير ضمن المنطقة المشوّهة. ويبرز تأثير الضغط الداخلي على مواسير التغليف في حالات عدة، نذكر منها الآتي[30,28,22,5]:

1 – عند إجراء الدوران لسائل الحفر أثناء إنزال المواسير أو بعد الانتهاء منه، وقبل البدء بضخ السائل الإسمنتي :

يتم اللجوء إلى دوران لسائل الحفر من أجل مراقبته وصيانته، وتسوية جدران البئر، خاصةً عندما تتواجد ضمن المجال المراد تغليفه طبقات قابلة للانتفاخ ثم الانهيار عند تلامسها مع الماء. في هذه الحالة تتعرض مواسير التغليف للضغط الداخلي بفعل احتكاك سائل الحفر مع سطوح الجريان، وتكون قيمته عظمى عند السطح (أكثر المواسير تعرّضاً لهذا الجهد تلك الموجودة في القسم العلوي من البئر).

2 – في نهاية عملية الإسمنت :

تنتهي عملية الإسمنت بتوضّع الفاصل الإسمنتي الثاني على الفاصل الإسمنتي الأول فوق حلقة الصد. تتعرّض مواسير التغليف للضغط الداخلي أثناء ضخ سائل الإزاحة بقيمة تساوي إلى مجموع الضغوط الضائعة أثناء حركة السوائل في البئر، وكذلك للفرق بين الضغط خارج المواسير وداخلها عندما يزاح الإسمنت ذو الوزن النوعي المرتفع إلى الفراغ الحلقي.

يأخذ الضغط الداخلي في هذه الحالة قيمته العظمى على السطح في اللحظات الأخيرة من عملية الإسمنت. أما في حال متابعة الضخ بعد استناد الفاصل الإسمنتي الثاني على الفاصل الأول فيرتفع الضغط الداخلي بشكل مفاجئ.

3 – عند اختبار درجة إحكام مواسير التغليف :

يترك السائل الإسمنتي الذي ضخ إلى الفراغ الحلقي خارج المواسير في وضع ساكن فترة كافية للتصلب، ولتشكيل حجرٍ إسمنتي مقاوم خارج المواسير وداخلها بارتفاع حلقة الصد من الحذاء. بعد ذلك يتم فحص مواسير التغليف للتأكد من العزل المحكم لداخل المواسير عن الفراغ الحلقي، حيث ترفع قيمة الضغط الداخلي، ويراقب معدّل تغيّرها تبعاً للزمن، ومن خلال تحديد معدل هبوط الضغط الداخلي تقيّم درجة عازلية مواسير التغليف في مناطق الوصل فيما بينها. إذن: تتعرّض مواسير التغليف للضغط الداخلي من خلال هذا الاختبار، الذي تحدد قيمته العظمى تبعاً لقطر ونوعية المواسير.

4 – أثناء إغلاق أجهزة منع الانفجار للسيطرة على اندفاع الموائع من البئر :

في حال حدوث اندفاع للمركبات الهيدروكربونية أثناء متابعة الحفر من خلال مواسير التغليف المسمنتة والمثبتة على السطح وتمّت السيطرة عليه بإغلاق أجهزة منع الانفجار، فإن الموائع الطبقية تستمر بالتدفق من الطبقة إلى البئر حتى يتعادل الضغط داخل البئر (داخل مواسير التغليف التي يتابع الحفر من خلالها) مع الضغط الطبقي. تتعرّض

مواسير التغليف خلال ذلك لضغط داخلي ناتج عن الفرق بين ضغط الموائع الطبقية التي سببت الاندفاع، وضغط الفراغ الحلقي (ضغط عمود سائل الحفر الموجود فوق الإسمنت خارج المواسير)، والقيمة العظمى لفرق الضغط تكون على السطح، حيث يكون الضغط الخارجي مهملاً.

5 – عند متابعة الحفر بسائل حفر ذي وزن نوعي مرتفع :

تتعرّض مواسير التغليف لضغط داخلي ناتج عن الفرق بين الوزن النوعي للسائل داخلها والوزن النوعي للسائل الموجود في الفراغ الحلقي عند استعمال سائل حفر بوزن نوعي مرتفع أكبر من الوزن النوعي للسائل الذي استعمل قبل إنزال المواسير في البئر.

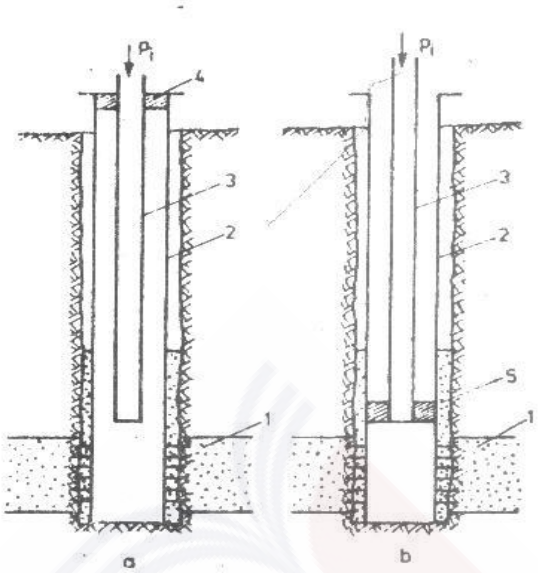
6 – عند إغلاق البئر وهي في حالة إنتاج ذاتي :

في حال استعمال مواسير تغليف ضائعة للمرحلة الإنتاجية فإن مواسير التغليف الوسطية تتعرّض لضغط داخلي أثناء الإنتاج العادي من البئر، وكذلك أثناء إغلاق البئر لأي سببٍ طارئ.

7 – عند إجراء عمليات السمنتة تحت ضغط :

تجرى بعض عمليات الصيانة والإصلاح للطبقات الخازنة أثناء الإنتاج للمحافظة على معدل استثمار مقبول منها. ومن هذه العمليات حقن حموض أو سوائل أخرى، لإحداث شقوق وقنوات جديدة في الطبقة، أو حقن إسمنت لتشكيل حاجز أمام المياه الطبقية التي تغمر المجال النفطي . . . إلخ. تتعرّض مواسير التغليف لضغط داخلي كبير أثناء هذه العمليات، والذي يجب أن تكون قيمته كافية لدفع السوائل إلى الدخول في الطبقة، وخاصةً عند ضخ الإسمنت ذي الوزن النوعي المرتفع واللزوجة العالية أيضاً (وكلتا الخاصيتين تتطلبان قوة كبيرة لدفع السائل للحركة، وخاصةً في الطبقة، حيث القنوات صغيرة القطر وغير خطية.

إذا كان الضغط الداخلي المطلوب توليده ضمن المواسير لدفع هذه السوائل للدخول إلى الطبقة أكبر من قدرة المواسير (قيمة المقاومة الحدية للمواسير أقل من الضغط الداخلي المطلوب) يستعمل عازل (Packer) يثبّت فوق الطبقة المتهدمة وفي نهاية المواسير المستخدمة لتنفيذ مثل هذه العمليات الإصلاحية، الشكل (4-6).



الشكل (4-6): حقن السوائل في الطبقة.

a – الحقن بدون استعمال عازل. b – الحقن باستعمال عازل.

1– المجال المستهدف في الحقن. 2– مواسير التغليف. 3– مواسير الضخ. 4– جهاز إغلاق المواسير على السطح. 5– العازل.

4–6– جهد الفتل (Torsion stress):

تتعرّض مواسير التغليف لجهد الفتل عند تدويرها، إذ يتم في بعض الأحيان إدارتها بواسطة الرحى (الطاحون) لتلافي استعصائها (من خلال تشكيلها لضغط معاكس على جدران الطبقات الطرية)، أو لنزع القشرة الطينية عن جدران البئر قبل البدء بضخ السائل الإسمنتي (عند استخدام منظفات كعكة الحفر العمودية)، وكذلك أثناء عملية السمنتة لتحسين نسبة إزاحة السائل الإسمنتي لسائل الحفر في الفراغ الحلقي (فعالية الإزاحة تزداد بازدياد اضطراب السائل). نتيجةً لجهد الفتل فإن مواسير التغليف تتعرّض للشد الزائد في مناطق الوصل فيما بينها، وهذا يعني ازدياد تآكل الشرار، مع احتمال حلّ المواسير عن بعضها، وسقوط الجزء السفلي منها في البئر.

من أجل تلافي هذه النتائج السلبية لجهد الفتل يجب مراقبة المواسير عند مستوى الطاحون، حيث يتم إيقاف التدوير عند ملاحظة تزايد الشد.

يجب التنويه إلى أن عزم الشد أثناء ربط المواسير يحدد وفقاً لقطرها ونوع الشرار (لاحظ الجدول4-2).

قطر المواسير	عزم الشد لمواسير التغليف ذات الشرار العادي وفقاً لـ API (kgf.m))

(Inch)	الأصغري	الوسطي	الأعظمي
4 ½	140	170	220
5	275	365	550
5 ½	280	370	550
6 5/8	330	440	650
7	390	530	790
7 5/8	390	530	790
8 5/8	430	570	840
9 5/8	490	650	970
10 ¾	510	680	1010
11 ¾	-	-	-
13 3/8	550	715	1100

الجدول (4-2).

4-7- تآكل مواسير التغليف (Casing corrosion) :

تتعرّض مواسير التغليف لنوعين من التآكل هما:

4-7-1- التآكل الميكانيكي (Mechanical corrosion):

ينتج هذا التآكل عن دوران مجموعة مواسير الحفر أثناء متابعة العمل خلال مواسير التغليف (السطحية والوسطية)، إضافةً إلى تأثير سائل الحفر وما يحويه من مواد صلبة حيادية ناتجة عن الحفر. تتناقص مقاومة المواسير نتيجة هذا النوع من التآكل، ويمكن أن تتعرّض للتقوّض بتأثير الضغط الخارجي، أو للكسر بفعل الضغط الداخلي. إن جعل مواسير التغليف شاقولية تماماً داخل البئر يعتبر من الوسائل الرئيسية للتقليل من التآكل الميكانيكي، إلا أن هذا الحل مستحيل في مختلف الآبار. تستخدم حالياً جلب مخروطية من المطاط، تلبّس على مواسير الحفر، وتختار بقطر مناسب (أكبر بالتأكيد من قطر مواسير الحفر)، بحيث تمنع الاحتكاك المباشر بين مجموعتي المواسير، وتستبدله باحتكاك الجلب المطاطية مع مواسير التغليف.

4-7-2- التآكل الكيميائي (Chemical corrosion):

أسباب هذا التآكل متعددة، منها: تفاعل الأكسدة، كبريت الهيدروجين، تأثير البكتيريا، الأملاح المنحلة، تشكّل خلية كالفن. جميع هذه المسببات لها تأثير موحد، هو إنقاص مقاومة مواسير التغليف من خلال تحويل الخليطة المعدنية إلى مركبات معدنية هشة.

وكمثال على التآكل الكيميائي نأخذ التفاعلين الآتيين:

$$2Fe + O_2 \xrightarrow{H2O} Fe_2O_3 + H_2$$

$$H_2S + Fe + \xrightarrow{H2O} FeS + H_2$$

تستعمل مركبات كيميائية مانعة للتآكل الكيميائي وفقاً لنوع التآكل المتوقع أن تتعرّض له مواسير التغليف. كما يلجأ إلى تغطية سطح مواسير التغليف الخارجي والداخلي بمادة واقية (طلاء خاص) تحميها من تأثير مسببات التآكل والحماية المهبطية عند الضرورة (Cathode Protection).