4-1-2- تشكيلة الحفر(مجموعة مواسير الحفر)(Drill Stem):

مجموعة مواسير الحفر هي صلة الوصل ما بين رأس الحفر الموجود على قاع البئر والأجهزة السطحية . وتتألف من الأجزاء الرئيسية الآتية (الشكل 4 – 17) :

قلم الحفر (الماسورة المضلعة) (Kelly) ، مواسير الحفر (Drill pipes) ، أعمدة الحفر (Drill Collars) .

وبالإضافة إلى ذلك فإن تشكيلة الحفر تتضمن متممات أو ملحقات، وهي الآتية :

- مواسير حفر مثقلة أو ثقيلة الجدار (Heavy - Wall Drill Pipe (HWDP)) .
- المطرقة الهيدروليكية (Drilling Jar) .
- الممركزات (Stabilizers) .
- القواشط (Reamers)
- ماص الصدمات (المخمد) (Shock Sub , Shock Absorber).
- الوصلات ما بين أجزاء مجموعة مواسير الحفر (Bit Sub , Crossover Sub).
- رأس الحفر (Drill Bit) .

تقوم مجموعة الحفر أثناء الحفر الطاحوني بالوظائف التالية [2، 13،23] :

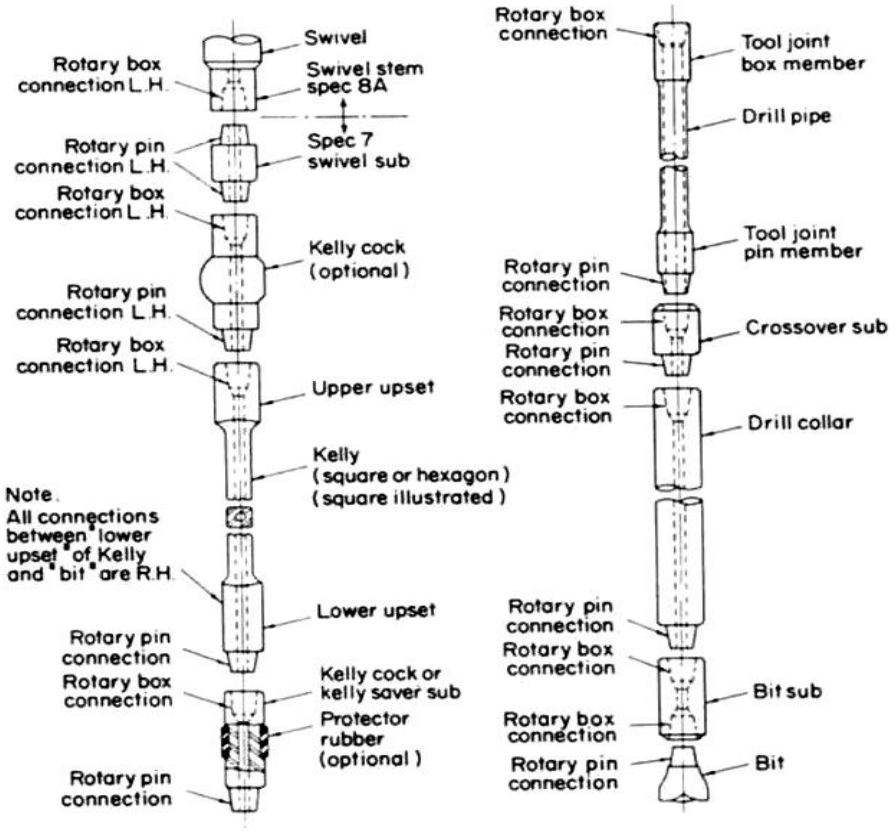
1- نقل الحركة الدورانية من الطاحون إلى رأس الحفر على قاع البئر .

2- نقل سائل الحفر إلى التوربين (عند استخدام طريقة الحفر التوربيني) وإلى قاع البئر في جميع طرق الحفر، ونقل الفتاتات الناتجة عن الحفر إلى السطح من خلال الفراغ الحلقي بين هذه المجموعة وجدران البئر .

3- التحميل على رأس الحفر لتأمين دخول أسنانه في الصخر وذلك بترك جزء من وزنها على هذا الرأس .

4- تقوم برفع وإنزال رأس الحفر والتوربين والمعدات المساعدة الأخرى من البئر وإليه.

5- تأمين إنجاز الأعمال المساعدة في عملية الحفر (توسيع المناطق المتضيقة من البئر بفعل انتفاخ الصخور ، أخذ العينات الأسطوانية ، اختبار الطبقات لمعرفة إمكانية احتوائها على الموائع الهيدروكربونية ، اصطياد المعدات التي تسقط إلى قاع البئر . . إلخ) .



الشكل (4 – 17) : أجزاء تشكيلة الحفر .

Bit – رأس الحفر ؛ **Bit Sub** – وصلة رأس الحفر مع أعمدة الحفر ؛ **Drill Collars** – أعمدة الحفر ؛ **Crossover Sub** – وصلة أعمدة الحفر مع النهاية المغلظة للطرف السفلي لمواسير الحفر (**Tool Joint Pin Member**) ؛ **Drill pipes** – مواسير الحفر ؛ **Tool Joint Box Member** – النهاية المغلظة للطرف العلوي لمواسير الحفر ذات الشرار الداخلي ؛ **Kelly Saver Sub** – وصلة حماية لقلم الحفر مع مواسير الحفر ؛ **Lower Upset** – النهاية المغلظة السفلى لقلم الحفر ؛ **Kelly** – قلم الحفر ؛ **Upper Upset** – النهاية المغلظة العلوية لقلم الحفر ؛ **Kelly Cock** – صمام الأمان ؛ **Swivel Sub** – وصلة الرأس الهيدروليكي مع قلم الحفر ؛ **Swivel** – الرأس الهيدروليكي .

6- المساهمة في تشكيل قشرة طينية ذات مقاومة كبيرة على جدران البئر ، والتي تعمل على تلييس جدران البئر وتنظيم فاقد الرشح لسائل الحفر إلى الطبقة ، وذلك من خلال دورانها وإحداثها لقوى طرد مركزية كبيرة داخل البئر .

وسنقوم بدراسة أجزاء مجموعة الحفر بشيء من التفصيل .

4-1-2-1- قلم الحفر (Kelly) :

يمثل قلم الحفر الجزء العلوي من تشكيلة الحفر ، ويستخدم لنقل الحركة الدورانية من المنضدة الرحوية (Rotary Table) إلى رأس الحفر عبر مواسير الحفر وأعمدة الحفر عن طريق تعشيق الأنبوب المضلع مع المنضدة الرحوية بواسطة لقم تعشيق (Kelly Drive Bushing , or Master Bushing) . شكل هذه الماسورة من الخارج مضلع : مربع Square أو مسدس Hexagonal ، أما المقطع الداخلي فهو دائري الشكل. ويصنع قلم الحفر بأطوال مختلفة(40 ft (12.2 m) ؛(46 ft (14 m) ؛ (54 ft (16.5 m) ، ومن خلائط معدنية ذات نوعية جيدة ، كونه يتعرض لجهد شد

أعظمي ، مثل خليطة الفولاذ مع الكروم والنيكل ، أو مع الكروم والمولبدن . تكون نهايتا قلم الحفر مغلظة ، حيث يجهز الطرف السفلي بشرار خارجي (PIN) يميني ((Right Hand Thread (RHT) مشابه لشرار بقية مواسير الحفر ، وشرار داخلي (Box) يساري ((Left Hand Thread (LHT) في الجزء العلوي مشابه لشرار محور الرأس الهيدروليكي ، وذلك لتجنب حل الماسورة أثناء الدوران العادي لمجموعة مواسير الحفر . وهناك متممات أو ملحقات لقلم الحفر تشمل [6،13،23] :

– **وصلة حماية (Kelly Saver Sub)** ، الشكل (4 – 18) ، وهي وصلة صغيرة توصل مع الطرف السفلي لقلم الحفر ، وذلك لحماية أسنان (شرار) القلم من التآكل نتيجة الفك والتركيب المتتالي لمواسير الحفر خلال عمليات الرفع والإنزال .

– **صمام أمان (Safety Valve) ويدعى (Kelly Cock)** : وهو وصلة صغيرة تركب في الطرف العلوي لقلم الحفر ، أو بين قلم الحفر ووصلة الحماية (أسفل قلم الحفر) ، فعندما توضع في الطرف العلوي لقلم الحفر تدعى صمام الأنبوب المضلع

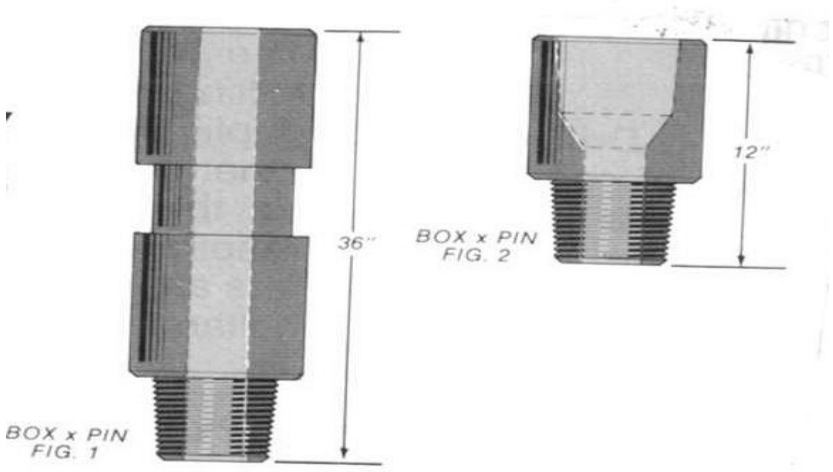
العلوي (Upper Kelly Cock) حيث يعمل كصمام للضغط المعاكس (Back-Pressure Valve) ، وذلك لحماية التجهيزات السطحية فوق قلم الحفر (الرأس الهيدروليكي ، خرطوم الطفلة) من تأثير تموّر الضغط العالي الذي يأتي من الأسفل ، حيث يستعمل عندما يكون قلم الحفر في أخفض نقطة له أثناء الحفر . أما عندما توضع أسفل القلم فتدعى صمام الأنبوب المضلع السفلي (Lower Kelly Cock) ، حيث يستخدم لإغلاق مواسير الحفر عند حدوث اندفاع وذلك عند إغلاق أجهزة منع الانفجار . كما يمكن أن يستخدم لمنع خروج سائل الحفر على سطح الحفارة عند إضافة ماسورة جديدة ، حيث يستعمل هذا الصمام عندما يكون الأنبوب المضلع خارج البئر وفي أعلى نقطة له. يمكن إغلاق أو فتح الصمام باستعمال ذراع الإغلاق (Wrench) الذي يشترط تواجده على أرضية البرج دائماً .

استخدم قلم الحفر ذو المقطع المربع بشكل واسع حتى الآن ، إلا أن قلم الحفر ذي المقطع المسدس بدأ بالحلول مكانه لما يتمتع به من مميزات بالمقارنة مع القلم المربع ومنها[6] :

1– قطر داخلي أكبر .

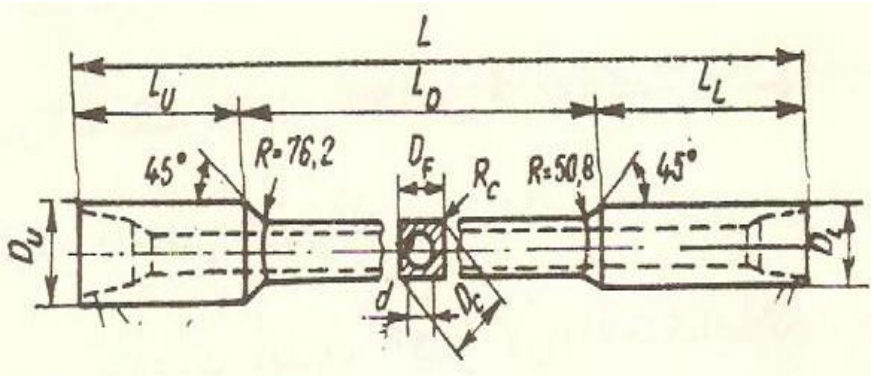
2– عدد ساعات عمله أكبر لأن الاحتكاك الخارجي يتوزع على ستة أضلاع بدلاً من أربعة ، ولذلك فإن معدل التآكل يقل .

3– مردوده في نقل الحركة الدورانية من الطاحون أكبر من القلم المربع .

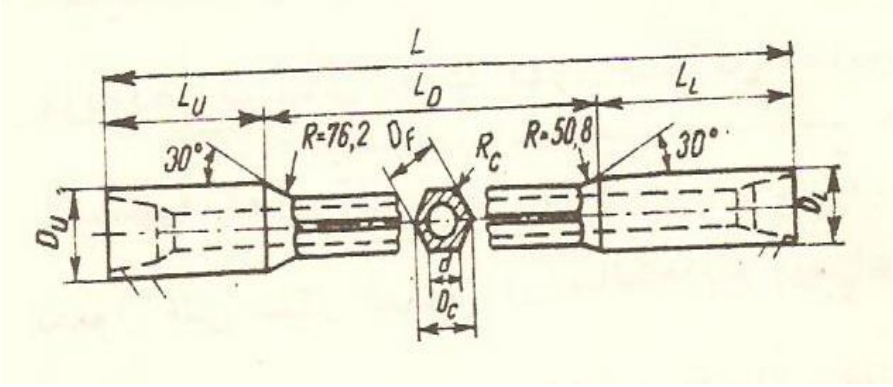


الشكل (4 – 18) : وصلة الحماية لقلم الحفر.

العناصر المميزة للقلم هي طول الضلع ، والطول الفعال (طول الجزء المضلع) والذي يجب أن يكون أكبر من أطول ماسورة حفر موجودة على البئر،وذلك للتمكن من أداء وظيفته عند إضافة هذه الماسورة أثناء متابعة الحفر ، الأشكال(4–19 و 4–20) .



الشكل (4–19) : قلم حفر ذو مقطع مربع .



الشكل (4–20) : قلم حفر ذو مقطع مسدس .

4–1–2–2– مواسير الحفر (Drill pipes) :

وهي مواسير معدنية تتميز بسماكة جدار قليلة (مرونة كبيرة) ، وتمثل من حيث الطول الجزء الرئيس من مجموعة مواسير الحفر ، وقطرها هو القطر المميز لمجموعة مواسير الحفر.

4–1–2–2–1– تصنيف مواسير الحفر :

وتصنف مواسير الحفر وفق معايير مختلفة على الشكل التالي [2] :

1 – تبعاً للطول (Pipe Lengths) : تصنف مواسير الحفر من حيث أطوالها وحسب مواصفات API إلى ثلاثة مجالات :

- المجال الأول : 18 - 22 ft (5.49 - 6.71 m)
- المجال الثاني : 27 - 30 ft (8.23 - 9.14 m)
- المجال الثالث : 38 - 45 ft (11.58 - 13.72 m)

2 – تبعاً لنوع الخليطة المعدنية المصنوعة منها (Grade of Steel) : تصنف مواسير الحفر حسب الخليطة المعدنية المصنوعة منها وفق النموذج الأمريكي إلى الأنواع التالية ، الجدول (4–1) :

نوع الخليطة المعدنية	مقاومة الخضوع ، MPa	مقاومة الشد الأصغري MPa
E - 75	517	690
X - 95	655	725
G - 105	725	790
S - 135	930	1000

الجدول (4–1) .

ويمكن أن تصنف مواسير الحفر حسب الخلائط المعدنية ذات المقاومة العالية (High Strength Grades) أو الخلائط المعدنية العادية(Standard Grades) كما هو موضح في الجدول (4–2) [2] :

وكل نوع من هذه الأنواع يصنع بالأقطار التالية :

2 3/8 , 2 7/8 , 3 1/2 , 4 , 4 1/2 , 5 , 5 1/2 , 6 5/8 in

والأكثر استخداماً في حفر الآبار النفطية والغازية (3 1/2 , 5 in) ، وغالباً في الولايات المتحدة (4 1/2 in) .

الخلائط ذات المقاومة العالية		الخلائط ذات المقاومة العادية	
النوع	الرمز	النوع	الرمز
X - 95	X	N - 80	N
G - 105	G	E	E
S - 135	S	C - 75	C
V - 150	V		

الجدول (4–2) .

3 – تبعاً لدرجة التآكل (Degree of Wear) : تصنف مواسير الحفر حسب درجة التآكل وتبعاً لمواصفات API إلى [2] ، الجدول (4–3) :

– الصنف الأول I (Class one): ويتضمن مواسير الحفر الجديدة(New Pipe) .

– الصنف المحسن (Premium Class) : حيث يكون تآكل مواسير الحفر منتظماً (Uniform Wear) ويبقى % 80 من سماكة الجدار .

– الصنف الثاني II (Class Two) : حيث يبقى % 70 - 65 من سماكة الجدار .

– الصنف الثالث III (Class Three) : حيث يبقى % 55 من سماكة الجدار .

عملياً تصنف مواسير الحفر ونقاط الوصل أو مفاصل الربط (Tool Joints) من خلال رموز اصطلاحية (Code) تكون على شكل خطوط (Bands) ملونة تطلى بها مواسير الحفر ونقاط الوصل، كما تستخدم هذه الخطوط كذلك لتبيان حالة نقاط الوصل وذلك كما يلي [2] :

تصنيف مواسير الحفر	عدد ولون خطوط التمييز
الصنف المحسن	خطين بلون أبيض Two White
الصنف الثاني	خط بلون أصفر One Yellow
الصنف الثالث	خط بلون برتقالي One Orange

الصنف المستكرب	خط بلون أحمر One Red

الجدول (4–3) .

بالنسبة لنقاط الوصل ، الجدول (4–4) :

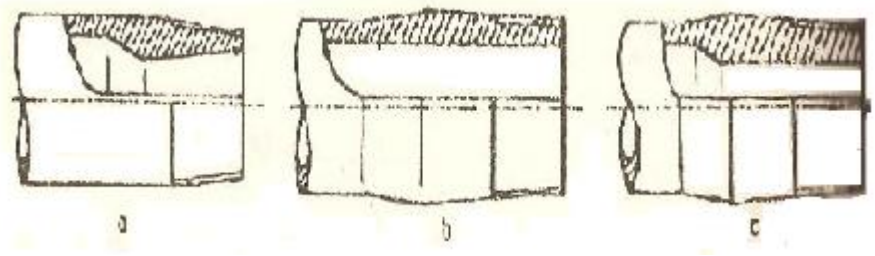
حالة (وضع) نقاط الوصل	لون خطوط التمييز
مستكربة (Scrap) أو قابلة للإصلاح في الورشة	أحمر Red
قابلة للإصلاح في الحقل	أخضر Green

الجدول (4–4) .

4 – تبعاً لنوع النهاية المغلظة (Term Upset) وطريقة الوصل : وتبعاً لذلك توجد الأنواع التالية [2] :

- مواسير حفر مغلظة من الداخل (Internal Upset 'IU")
- مواسير حفر مغلظة من الخارج (External Upset 'EU")
- مواسير حفر مغلظة من الداخل والخارج(Internal-External Upset 'IEU').
- مواسير حفر ذات نهايات توصيل ملحومة .

يتم الحصول على نقاط اتصال المواسير بصنع شرار عند طرفي الماسورة وذلك بنزع جزء من المعدن ، الأمر الذي يؤدي إلى إضعاف مقاومة هذه المناطق. من أجل زيادة مقاومة المواسير للإجهادات التي تتمركز في نقاط الاتصال فإنها تغلظ (تزاد سماكة جدارها) من الداخل أو من الخارج أو من الداخل والخارج معاً ، الشكل (4–21) .

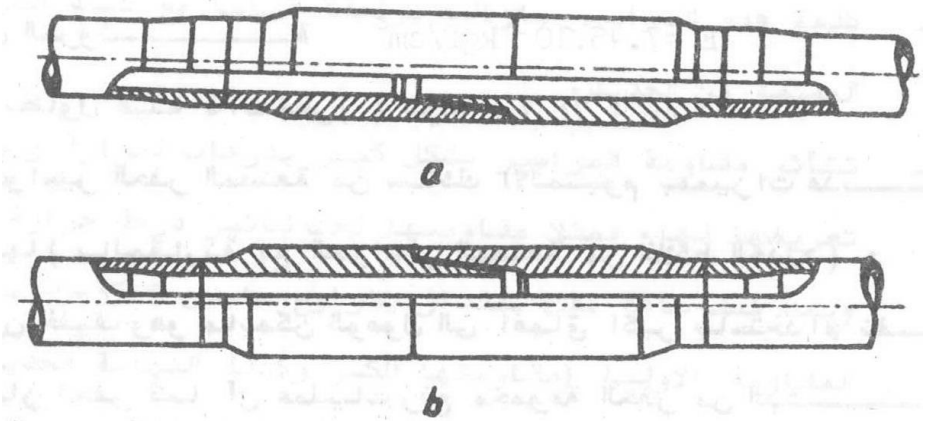


الشكل (4–21) : مواسير الحفر ذات النهايات المغلظة.

a – من الداخل. b – من الخارج. c – من الداخل والخارج.

تستعمل مواسير الحفر المغلظة من الداخل بكثرة بسبب إمكانية صنع شرارها باتجاه اليمين واليسار ، بينما الشرار في النوعين الآخرين يميني دوماً (لا يمكن استعمالها في عمليات الاصطياد) ، كما أن زيادة سماكة الجدار من الخارج تتطلب استخدام وصلات ذات قطر أكبر وقد تكون أكبر من قطر البئر .

إلا أن زيادة سماكة جدار المواسير عند الرأس لم تحل مشكلة كسر المواسير في مناطق الاتصال وذلك بسبب تمركز الإجهادات فيها ، إضافةً إلى ذلك فإن لهذه الزيادة في السماكة بعض المساوئ ، فمثلاً عندما تكون من الداخل فإن مقطع جريان سائل الحفر يقل ، ويسبب فقداناً لا بأس به للضغط ، وتعريض مضخات سائل الحفر لضغوط إضافية . أما عند الزيادة من الخارج فإنها تؤدي إلى زيادة قطر الوصلات ما بين المواسير وبالتالي تقليل الفراغ الحلقي بينها وبين جدران البئر ، الأمر الذي يسبب زيادة في الضغط الضائع أثناء جريان سائل الحفر، وأيضاً زيادة احتمال استعصاء المواسير في البئر . ومن أجل تلافي هذه المساوئ ابتكرت طريقة توصيل المواسير باللحام التناكبي (رأساً إلى رأس) تحت ضغط باستخدام تيارات كهربائية عالية التوتر . وتصنع عدة أنواع من هذه المواسير ، إلا أن النوع الأكثر انتشاراً هو المواسير ذات القطر الداخلي الثابت على كامل طولها ، والتي تحقق ضغطاً ضائعاً أصغرياً عند جريان سائل الحفر ، الشكل (4–22) . تستخدم مواسير الحفر ذات نهايات التوصيل الملحومة لحفر الآبار العميقة ، فمثلاً مواسير حفر من هذا النوع من خليطة P 105 – يمكن أن تستخدم حتى عمق 8000 m ومن خليطة 135 – X حتى عمق 10000 m .



الشكل (4–22) : مواسير الحفر ذات نهايات التوصيل الملحومة .

a– المواسير ذات قطر داخلي ثابت. b– مواسير مغلظة من الداخل.

4–1–2–2–2– مواسير الحفر المصنعة من سبائك الألمنيوم :

مع ازدياد أعماق الآبار والذي أدى إلى زيادة وزن مجموعة مواسير الحفر ، وبالتالي ضرورة استخدام معدات ذات استطاعة كبيرة لرفع الحمولات المتزايدة ، وبالنتيجة ازدياد كلفة الحفر . هذا الأمر تطلب البحث عن مواسير حفر مصنعة من سبائك خفيفة الوزن . وقد صنعت مواسير من سبائك الألمنيوم ، وهذه المواسير تتمتع بالمميزات التالية (بالمقارنة مع المواسير المصنعة من خلائط الحديد) [6] :

1 – وزن خفيف ، وهو ما يمكن من الوصول إلى أعماق أكبر باستخدام نفس جهاز الحفر ، كما أن عمليات رفع مجموعة المواسير في البئر وإنزالها فيه تتم خلال زمن قصير وتستهلك طاقة أقل ، وكذلك فإن نقل المواسير وتخزينها يتم بسهولة كبيرة، الجدول (4–5) .

2 – السطوح الداخلية والخارجية للمواسير تتميز بنعومة كبيرة ، ولذلك فإن الضغط الضائع بالاحتكاك أثناء جريان سائل الحفر داخلها أو في الفراغ الحلقي خارجها هو قليل ، وبالتالي فإنه يمكن استعمال مضخات سائل الحفر لأعماق أكبر .

3 – التأثير التآكلي للمواسير على صخور جدران البئر قليل ، نتيجةً للقوة الجانبية القليلة التي تتعرض لها الجدران عند دوران مجموعة المواسير في البئر ، وذلك بسبب الوزن القليل لها .

4 – يتميز معدن الألمنيوم بخاصية الديامغناطيسية ، التي تعتبر في غاية الأهمية ، حيث تسمح بقياس زوايا السمت العمودية والأفقية للبئر بواسطة جهاز قياس الميل الذي ينزل داخل مجموعة مواسير الحفر.

الوزن النوعي kgf/cm^3	المقاومة الحدية للانسياب kgf/cm^2	المقاومة الحدية للكسر kgf/cm^2	المقاومة الحدية للقص kgf/cm^2	معامل المرونة kgf/cm^2
208	4070	4500	2320	$7.45x10^5$

جدول (4–5) : الخواص الفيزيائية للمواسير المصنعة من سبائك الألمنيوم.

ومع ذلك فإن استعمال هذه المواسير ما يزال قليلاً بسبب بعض العيوب ، والتي نذكر منها [6] :

1 – الكلفة المرتفعة لهذه المواسير بالمقارنة مع المواسير المصنعة من الحديد .

2 – تتأثر مقاومة المواسير كثيراً بدرجة الحرارة وبزمن تعرضها لها ، فمثلاً عند درجة حرارة $200\ C^o$ وخلال نصف ساعة تقل مقاومتها بحوالي % 35-25 من المقاومة الأولية للكسر وكذلك النهاية الحدية للانسياب .

3 – تتآكل المواسير بسرعة نتيجة احتكاكها مع جدران البئر ، ولذلك فهي تستعمل عند الحفر بمحركات مغمورة ، لأن مجموعة الحفر تبقى ساكنة في هذه الحالة .

4 – عدم إمكانية استخدام هذه المواسير في الأوساط الشديدة القلوية ($PH > 10$) نظراً للتأثير التآكلي الشديد لهذه الأوساط على سبائك الألمنيوم .

ونظراً لهذه العيوب ، وللتمكن من استخدام هذه المواسير فإنه تستخدم مجموعات مواسير مركبة مؤلفة من مواسير مصنعة من الحديد في القسم السفلي (حيث درجات الحرارة مرتفعة)، وأيضاً في القسم العلوي (حيث جهد الشد كبير نتيجة وزن المجموعة) ، أما في الوسط (حيث درجات الحرارة معتدلة والوزن المعلق قليل نسبياً) فنستعمل مواسير الحفر المصنعة من سبائك الألمنيوم .

4–1–2–2–3– وصل مواسير الحفر :

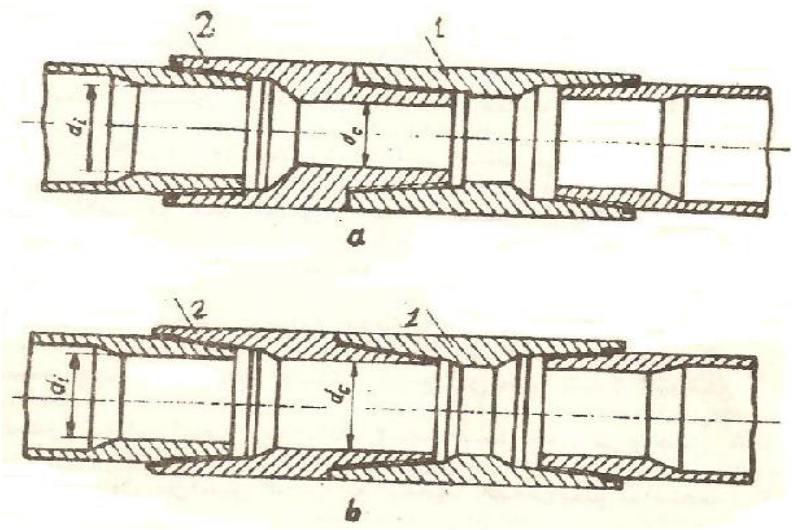
من أجل وصل مواسير الحفر مع بعضها تستعمل وصلات خاصة تتكون من قطعتين ، إحداهما أنثوية (بشرار داخلي من الطرفين) والأخرى من نوع ذكر – أنثى (لها شرار خارجي من طرف ، وداخلي من الطرف الآخر) . هاتان القطعتان توصلان مع بعضهما بواسطة شرار خاص ، ومع المواسير بواسطة شرار عادي . الشرار الخاص يتميز عن العادي بأن دوره (المسافة ما بين حلقة وأخرى) ودرجة مخروطيته أكبر من العادي ، وهذا ما يمكُن من حل المواسير وربطها بسرعة أكبر .

تصنع الوصلات من خلائط جيدة لإكسابها مقاومة كبيرة . ويوجد نوعان من هذه الوصلات [6] :

- نظامية (Regular) : تتميز بمقطع خروج نظامي ، ويمكن أن يكون شرارها يمينياً أو يسارياً.
- ذات مقطع خروج عريض (FH) بشرار يميني فقط .

من أجل توضيح الفرق بين هذين النوعين نستعين بقطر فتحة الخروج والقطر الداخلي للمواسير ، والموضح في الشكل (4–23) . ويلاحظ من الشكل أن الوصلات النظامية ذات قطر أصغر من القطر الداخلي مقابل النهاية المغلظة للمواسير (a) ، في حين أن الوصلات ذات مقطع الخروج العريض لها قطر يساوي ، ويمكن أن يكون أكبر من القطر الداخلي عند النهاية المغلظة. ويضاف إلى هذا الاختلاف أن القطر الخارجي للوصلات النظامية أقل من القطر الخارجي للوصلات الأخرى.

من أجل وصل مواسير الحفر المغلظة من الخارج تستعمل وصلات ذات مقطع خروج متجانس (IF)والذي يتميز بأن القطر الداخلي لجزئي الوصلة هو نفسه(متساو).

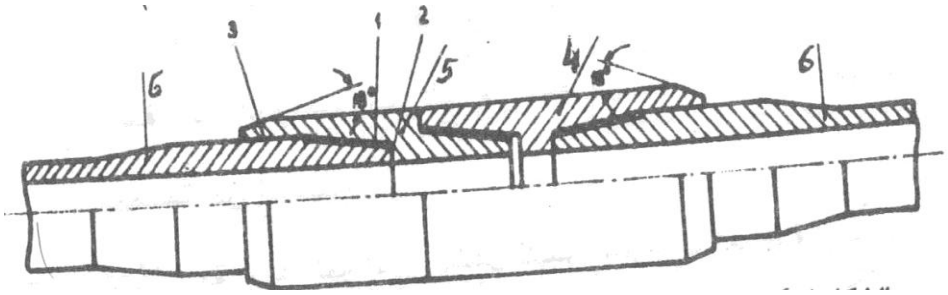


الشكل (4–23) الوصلات الخاصة لمواسير الحفر .

a – وصلات نظامية ($d_c < d_i$) ، b – وصلات عريضة ($d_c > d_i$) .

1 – الجزء الأنثوي. 2 – الجزء المذكر.

وفي الشكل (4–24) نبين كيفية وصل مواسير الحفر المصنعة من الألمنيوم ، حيث تستعمل وصلات خاصة تصنع من الحديد أو من سبائك الألمنيوم أيضاً . هذه الوصلات يجب أن تؤمن أكثر من منطقة إغلاق محكم لمنع كسر المواسير أو حلها ، وعادةً توجد ثلاث مناطق كما هو موضح في الشكل (4–22) .



الشكل (4–24) : وصل مواسير الحفر المصنعة من سبائك الألمنيوم.

1،2،3 – مناطق إغلاق محكم. 4– وصلة مؤنثة. 5– وصلة مذكرة. 6– المواسير.

نلاحظ من الشكل (4–24) أن القطر الداخلي لمواسير الحفر المصنعة من سبائك الألمنيوم ثابت حتى في مناطق وصلها مع بعضها ، كما أن المواسير من الطرفين تكون بشكل مخروطي من الخارج ، مما يمكُن من تعليقها داخل الطاحون بواسطة لواقط ذات تركيب خاص بدون أسنان.

4–1–2–3– أعمدة الحفر (Drill Collars) :

وهي عبارة عن مواسير معدنية تتميز بسماكة جدار كبيرة (أي وزن كبير في واحدة الطول) وذلك لزيادة مقاومتها والتقليل من مرونتها .

4–1–2–1–3– وظائف أعمدة الحفر وأنواعها :

تحقق أعمدة الحفر الوظيفتين التاليتين [34،6]:

1 – التحميل على رأس الحفر بجزء من وزنها وبالمقدار الكافي لجعل أسنانه تدخل في الصخر عند قاع البئر : في شروط الحفر العادية الخالية من المشكلات وخصوصاً انحراف البئر عن الاتجاه المحدد لها – فإنّ الحمل على رأس الحفر يكون 70 - 80% من وزن الأعمدة . ويمكن لهذه النسبة أن تنخفض ، خصوصاً عند حفر المجالات التي تتسبب في ميل البئر ، أو عند الحفر التلبيبي لأخذ عينات أسطوانيةحيث لا تشكل 20 - 25 % من وزن الأعمدة .

2 – المحافظة على شاقولية البئر ومنعها من الانحراف : وذلك نظراً لقساوتها الكبيرة ومرونتها القليلة (قابليتها القليلة للانحناء عند تعريضها للانضغاط من الطرفين)، الفراغ القليل بينها وبين جدران البئر. ونظراً للإجهادات الكبيرة التي تتعرض لها أعمدة الحفر فإنها تصنع من خلائط معدنية جيدة تزيد من مقاومتها. وقد استعملت خليطة الحديد مع النيكل والكروم وتستعمل لهذه الغاية الآن خليطة الحديد مع المولبدن والتي تتمتع بخواص فيزيائية جيدة .

ولكي تقوم أعمدة الحفر بهذه الوظائف يجب أن يكون قطرها كبيراً (لتأمين وزن كبير في واحدة الطول، وفراغ قليل بينها وبين جدران البئر) ، وقد استعملت وبشكل واسع أعمدة الحفر ذات الشكل الاسطواني (Cylindrical Drill

Collars) لتحقيق هذه الوظائف ، وهي أنابيب ذات مقطع دائري منتظم ، ولا تزود بمفاصل ربط (وصلات) ، لذلك تحتاج أثناء رفعها إلى وصلة رفع (Safety Clamps) عندما تعلق على الطاحون بواسطة المزلات أو السليبس (Slips). وعلى الأشكال (4–25 ، 4–26) نبين وصلة الرفع وأطواق الأمان .

الشكل (4–25) : طوق الأمان

الشكل 4–26) : وصلة الرفع لأعمدة الحفر

إلا أن استعمال هذا النوع من الأعمدة يقلل ، وبشكل كبير مقطع الفراغ الحلقي ، ويؤدي ذلك إلى زيادة الضغط الضائع بالاحتكاك ، وما يتبعه من احتمال تشقيق الطبقات الضعيفة وهروب سائل الحفر فيها ، ويعرض مضخات سائل الحفر لإجهادات إضافية ، كما أنه يعيق مرور سائل الحفر المحمل بالفتاتات من هذا الفراغ ، كما أن احتمال التصاق الأعمدة مع جدران البئر في الأماكن المكونة من صخور لدنة كبير ، الأمر الذي يؤدي إلى تكرار حوادث استعصائها . ومن أجل تلافي هذه السلبيات لأعمدة الحفر الاسطوانية وزيادة مقطع جريان سائل الحفر خلفها – مع تحقيق الوظائف الآنفة الذكر – تصنع أعمدة الحفر بالأشكال التالية [2، 13،6،35] :

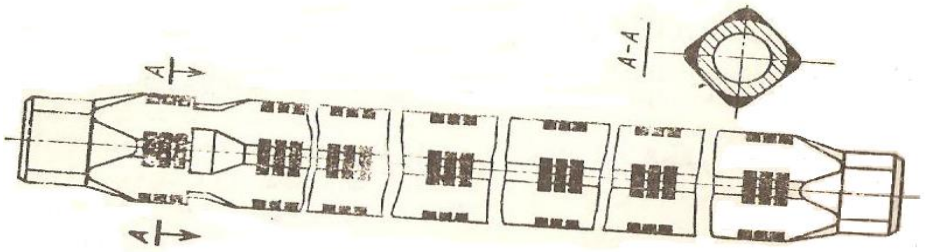
1- أعمدة الحفر الحلزونية (Spiral Drill Collars) :

وهي أنابيب ذات مقطع دائري ، تحتوي على أخاديد (تجاويف) حلزونية الشكل (Spiral Grooving) حول سطحها الخارجي (الشكل 4-27) حيث أنها تقلل من سطح التماس بين الأعمدة وجدران البئر ، وبالتالي تقلل بشكل كبير من قوة الالتصاق التفاضلي . وزن واحدة الطول لهذا النوع مقارنةً بالنوع الأسطواني المشابه له في المواصفات الأخرى أقل بمقدار % 4 .

الشكل (4-27) : أعمدة الحفر الحلزونية .

2- أعمدة الحفر المربعة (Square Drill Collars):

وهي أنابيب مربعة المقطع، وتستخدم بشكل خاص للحفاظ على شاقولية البئر الشكل (4-28) ، وهي ذات قساوة كبيرة ، حيث تلعب دور الممركز (طول قطر المربع يساوي تقريباً قطر رأس الحفر) ، حيث يكون الفراغ بين جدران البئر وأضلاع أعمدة الحفر $1/32^{"}$ ، وهذا ما يضمن تكوين تجويف متجانس خالٍ من الانحرافات الحادة ، والحفاظ على اتجاه البئر عند حفر الآبار الموجهة .



الشكل (4-28) : أعمدة الحفر المربعة المقطع .

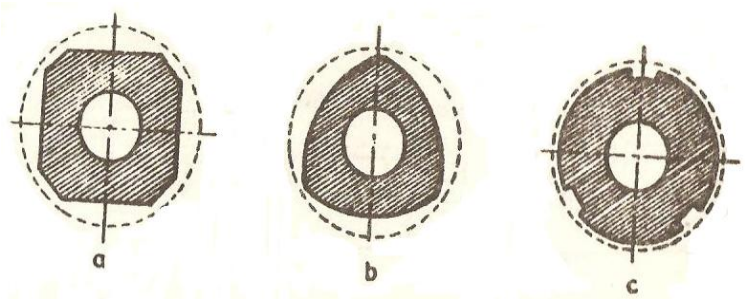
القسم العلوي من عمود الحفر ذي المقطع المربع وبطول يتراوح ما بين (1-1.25 m) يكون بشكل أسطواني للتمكن من استعمال أجهزة الاصطياد عند سقوط الأعمدة في البئر .

3- أعمدة الحفر ذات المقطع المثلثي وبأضلاع منحنية :

حيث ينحني الضلع المثلث للخارج ، الشكل (4-29- b) .

4- أعمدة الحفر الصليبية :

وهي حالة خاصة من أعمدة الحفر ذات المقطع المربع ، حيث ينحني الضلع المربع نحو الداخل ،مما يسمح بمقطع جريان أكبر لسائل الحفر ، مع القيام بدور المركزة والمحافظة على شاقولية البئر في الوقت نفسه ، الشكل (4-30) .

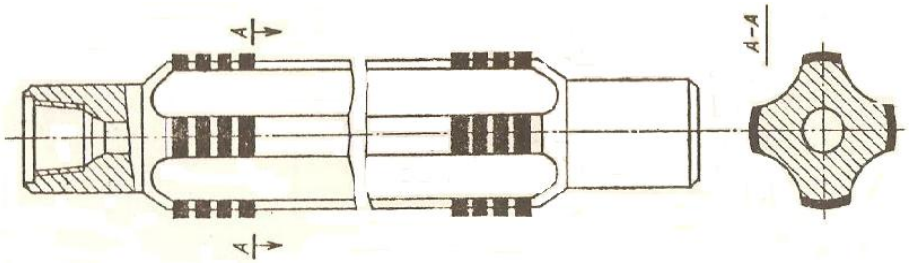


الشكل (4–29) : أعمدة الحفر المضلعة .

a – أعمدة حفر ذات مقطع مربع .

b – أعمدة حفر ذات مقطع مثلثي وبأضلاع منحنية .

c – أعمدة حفر ذات مقطع دائري بقنوات خارجية حلزونية .



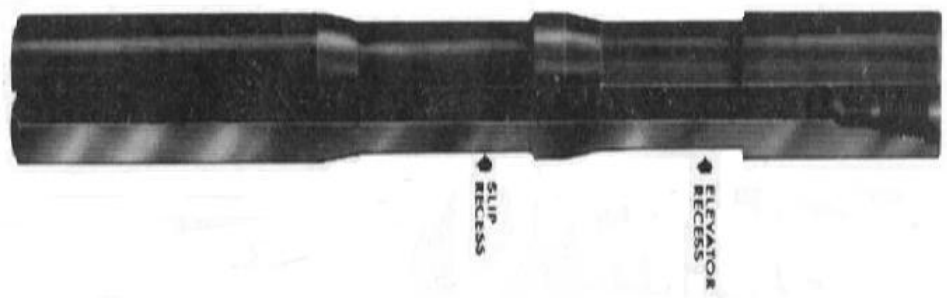
الشكل (4–30) : أعمدة الحفر الصليبية .

وهناك أنواع أخرى من أعمدة الحفر نذكر منها :

5– أعمدة حفر من نوع K – مونيل (K - Monel Drill Collars) :

تصنع هذه الأعمدة من خلائط (Monel–K) التي تحتوي على أكثر من 60 % نيكل ، أي من خلائط من الفولاذ غير مغناطيسية ، وتستخدم عادةً لحماية أجهزة المسح الموجهة من التأثيرات المغناطيسية لأعمدة الحفر الفولاذية الاعتيادية .

– أعمدة حفر سريعة الرفع (Quick Lift) : هذا النوع يحتوي من الأعلى وقرب الشرار الداخلي على تجويف (Recess) من أجل تثبيت رافعة المواسير (Elevator) ، الشكل (4–31) أما التجويف الثاني (السفلي) فيستخدم من أجل تثبيت عمود الحفر مع المنضدة الرحوية بواسطة المزلات (Slips) ، الأمر الذي يقلل من الزمن المصروف على عمليات الرفع والإنزال بمقدار 5% على الأقل .



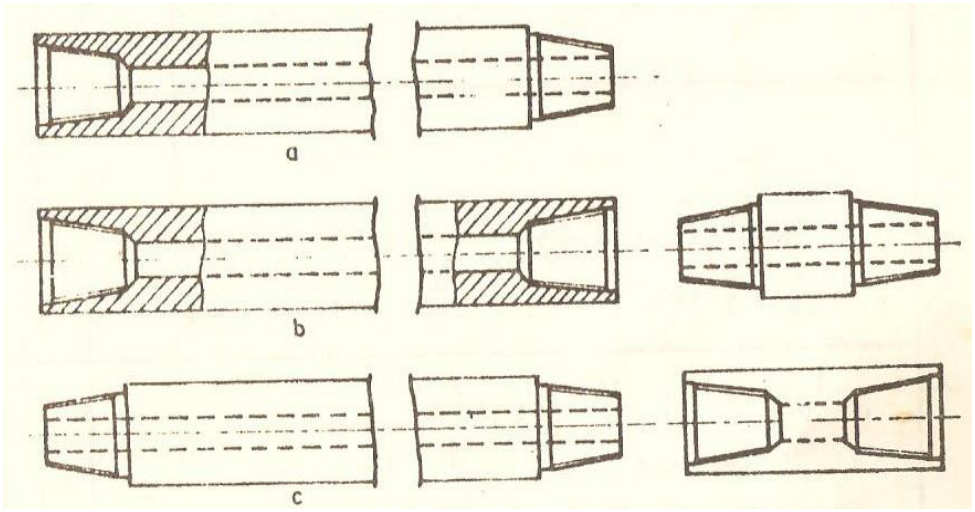
الشكل (4–31) : أعمدة حفر سريعة الرفع .

تصنع أعمدة الحفر حسب مواصفات API بطولين رئيسيين :

(31 ft(9.44 m) , 30 ft (9.144 m)) .

4–1–2–3–2- وصل أعمدة الحفر :

من أجل وصل أعمدة الحفر ببعضها ، وكذلك مع بقية أجزاء مجموعة الحفر فإنها تجهز من الطرفين بشرار خاص ، والذي تصنف أعمدة الحفر وفقاً له إلى ثلاثة أنواع [2] الشكل (4–32) :



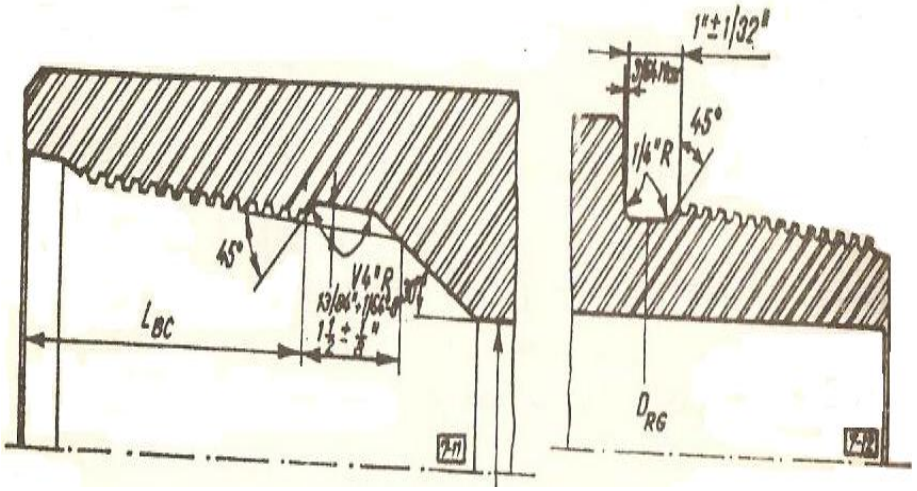
الشكل (4–32) : أنواع أعمدة الحفر حسب طريقة وصلها .

a – أعمدة حفر ذات شرار خارجي من أحد الطرفين (ذكر Pin) ، وآخر داخلي من الطرف الآخر (أنثى Box) ، والتي تمكن من وصل الأعمدة مباشرةً مع بعضها .

b – أعمدة حفر ذات شرار داخلي من الطرفين ، والتي تتطلب وصلة خاصة بشرار خارجي من طرفيها لوصل الأعمدة من هذا النوع فيما بينها. هذه الوصلة يجب أن تكون من نوعية الأعمدة نفسها من حيث القطر ونوعية المعدن ، إن لم تصنع من معدن أكثر جودةً ، لأنها تتعرض إلى إجهادات أكبر بسبب قصرها .

c – أعمدة حفر ذات شرار خارجي من الطرفين ، والتي تتطلب وصلة خاصة مؤنثة من الطرفين لوصل الأعمدة من هذا النوع فيما بينها .

يتم تصنيع شرار أعمدة الحفر بنزع جزء من المعدن عند رأس العمود، ولهذا الغرض تعالج رؤوس أعمدة الحفر حرارياً وبطول يتراوح مابين 60 – 80 سم ، الأمر الذي يمكن من تصنيع شرار جديد عند تآكل أو كسر الشرار الأولي . ولذلك فإن مقاومة مناطق وصل الأعمدة مع بعضها تقل ، وبما أن الإجهادات تتركز بشكل أساسي في نقاط الاتصال ، فإنها تجهز بقنوات دائرية لإخراج سائل الحفر ، ولإدخال عنصر



الشكل (4–33) : القنوات في نهاية منطقة الشرار لأعمدة الحفر .

إضافي ضمن الأعمدة أكثر مرونةً ، وذلك كما هو موضح في الشكل (4–33) ، والجدول (4–6) يبين أبعاد هذه القنوات .

من أجل حماية نقاط الاتصال من التآكل السريع فإنه يجب شدها بعزم محدد ، ولكن دون تجاوز قيمة هذا العزم .

4–1–2–4– ملحقات(متممات) مجموعة مواسير الحفر

(Drill String Accessories) :

تتضمن متممات مجموعة مواسير الحفر المعدات الآتية [13،2،34،35] :

قطر ونوع الوصل	طول الشرار ، mm	قطر القناة ، mm
2 7/8 IF	79.7	73.4

86.9	85.7	3 1/2	FH
89.3	92.1	3 1/2	IF
96.0	104.8	4	FH
109.9	104.8	4	IF
106.8	92.1	4 1/2	FH
120.6	104.8	4 1/2	IF
123.4	111.1	5 1/2	REG
149.6	117.5	5 1/2	IF
137.7	117.5	6 5/8	REG

الجدول (4-6) : أبعاد القنوات لنهاية منطقة الشرار .

4-1-2-4- مواسير الحفر المثقلة أو ثقيلة الجدار

(Heavy-Wall Drill Pipe(HWDP)):

أظهرت التجارب الحقلية أنّ سقوط مواسير الحفر نتيجة تعب المعدن يمكن أن ينقص بشكل كبير عندما تكون نسبة معامل صلابة مقطع عمود الحفر إلى معامل صلابة مقطع مواسير الحفر العادية عند نقطة التداخل هو 5.5 أو أقل . من أجل زيادة هذه النسبة فإنه يتم إدخال مواسير الحفر المثقلة بين أعمدة الحفر ومواسير الحفر العادية (القياسية) ، ويكون لمواسير الحفر المثقلة القطر الخارجي نفسه الذي تتمتع به مواسير الحفر القياسية ، ولكن القطر الداخلي أصغر بكثير،حيث أن نسبة معامل الصلابة (نسبة عزم العطالة إلى نصف القطر الخارجي) بين أعمدة الحفر ومواسير الحفر القياسية هو أكبر من 5.5 .

تتميز مواسير الحفر ثقيلة الجدار عن مواسير الحفر العادية بأن لها نهاية مغلظة في المركز ، وبأن النهاية المغلظة عند طرفيها أكبر مما هي عليه في مواسير الحفر العادية ، وتكون هذه النهايات المغلظة مقساة وذلك من أجل زمن عمل أكبر .

تصنع مواسير الحفر (HWDP) بأربعة أقطار ، من "3 1/2 وحتى "5 وبطول (30 ft (9.3 m . وتستخدم للحفاظ على جهد شد ثابت لمواسير الحفر العادية (تجنب تعرضها للانحناء وذلك بجعل المقطع الحر في المواسير المثقلة .

أما في الآبار الموجهة فإن مواسير HWDP تستخدم لتأمين الحمل اللازم على رأس الحفر ، بالإضافة إلى الحمل الناتج عن أعمدة الحفر .

4-1-2-4- المطرقة الهيدروليكية (Drilling Jar) :

تستخدم المطرقة الهيدروليكية لتحرير الأنابيب الملتصقة (Stuck Pipe) من خلال توليد ضربات لحظية – ترددية للأعلى أو للأسفل ، ويتم ربط هذه المطرقة أسفل أعمدة الحفر أو مواسير HWDP . وهناك أنواع عدة من المطارق حسب قوة الضربة التي تولدها (10 ؛ 15 ؛ 20 طن) ، كما توجد أنواع مختلفة حسب مبدأ عملها (ميكانيكي ، هيدروليكي، هيدروميكانيكي).

4-1-2-4-3- الممركزات (Stabilizers) :

هي أدوات توضع فوق رأس الحفر ، وعلى طول الجزء السفلي من مجموعة مواسير الحفر ، وذلك للتحكم بانحراف البئر والتقليل من شدة الانحراف إلى أدنى حد ممكن ، وكذلك لمنع الالتصاق التفاضلي . كما أن المركزة تسمح لرأس الحفر بالدوران بشكل عمودي على قاع البئر ، وبالتالي تحسن من أدائه . وهناك عاملان أساسيان يجب أخذهما بالاعتبار عند اختيار الممركزات [2] :

1 – أن يكون الفراغ الشعاعي خارجها صغيراً جداً ، فبالنسبة إلى الممركز الذي يوضع فوق رأس الحفر مباشرةً يجب أن يكون الفراغ الشعاعي خارجه "1/16 ، أما بالنسبة إلى الممركزات الأخرى فيجب أن يكون الفراغ الشعاعي خارجها "1/8 .

2 – يتم اختيار نوع منطقة الاستناد ومساحتها للممركزات (Wall Contact Area) حسب درجة صلابة الصخور ، وذلك لمنع انغراسها بجدار البئر ، وبالتالي منع انحراف البئر ، فإذا كانت الصخور صلبة فإن مساحة الاستناد للممركز تكون ضيقة وصغيرة ، أما إذا كانت الصخور رخوة (طرية) أو غير متماسكة فإن سطح الاستناد يكون طويلاً ، وفي أغلب الأحيان تستخدم ممركزات حلزونية طويلة لتلافي الالتصاق وزيادة سطح التماس مع جدران البئر . وبصورة عامة يوجد نوعان من الممركزات [7،8] :

1 – ممركزات دوارة (Rotating Stabilizers) :

ويوجد منها ثلاثة أنواع ، الشكل (4-34) [2] :

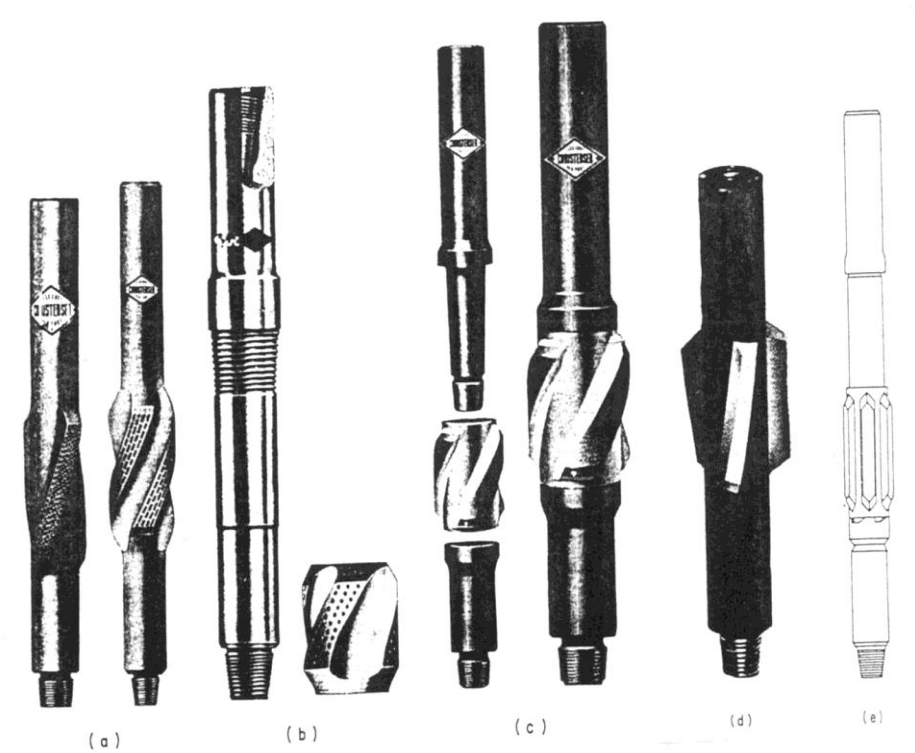
– ممركزات بمساند غير ملحومة (Integral Blade Stabilizers) وتكون مستقيمة Straight أو حلزونية Spiral (الشكل 4-34 – a) ، وتصنع من خلائط من الفولاذ ذي مقاومة عالية ، حيث تطعم الشفرات بكاربيد التنغستين .

– ممركزات بمساند قابلة للاستبدال (Replaceable Sleeve Stabilizers) : في هذا النوع من الممركزات فإن حلقة الاستناد في الممركز (Sleeve) تركب بشكل ملولب (مقلوظ) أي يثبت بمسمار ملولب ، كما في الشكل (4 – 34 – b) أو يركب بالضغط على جسم الممركز كما في الشكل (4-34 – C) . وفي هذه الأنواع من الممركزات تتوفر مساند إضافية للتعويض عن المساند المستهلكة .

– ممركزات بمساند ملحومة(Welded Blade Stabilizers)(الشكل 4- 34 – d): يستخدم بشكل خاص في الطبقات الطرية تلافياً للقطع في منطقة اللحام ، حيث تلحم الشفرات أو المساند في هذا النوع على جسم الممركز وتقسّى بكاربيد التنغستين لزيادة زمن عمل المساند .

2 – ممركزات غير دوارة (Non-Rotating Stabilizers):

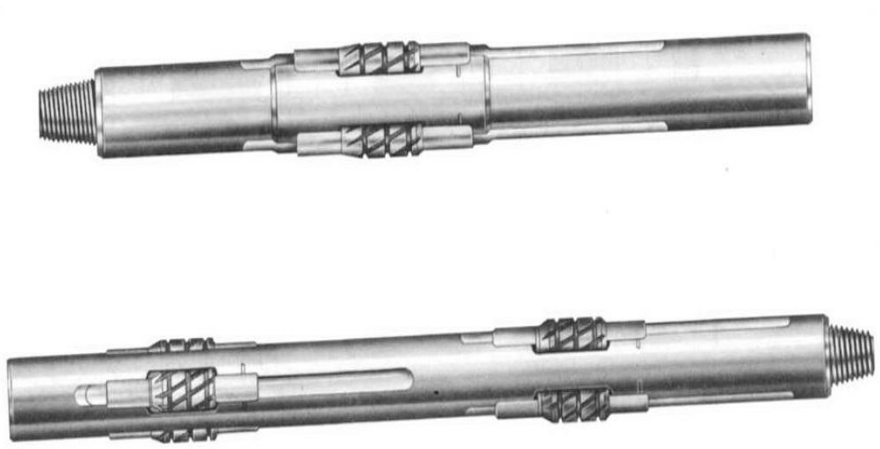
أو ممركزات بمساند مطاطية (Rubber Sleeve Stabilizers) : ويستخدم هذا النوع لمنع توسع جدران البئر خلال عمليات الحفر ، ولحماية أعمدة الحفر من التماس مع جدران البئر أو في الصخور غير القابلة للتهدم أو الانتفاخ ، حيث أن الجزء الساند في الممركز معرض للالتصاق ، كونه لا يدور مع تشكيلة الحفر ، إضافةً إلى أن المطاط في الممركز يتلف في درجات حرارة تتراوح ما بين C^0 150 - 120 . هذا النوع من الممركزات مبين في الشكل(4 – 34 – e) .



الشكل (4 – 34) : أنواع الممركزات .

4-1-2-4-4- القواشط (Reamers) :

وهي عبارة عن أسطوانات (Rollers) أو متدحرجات دوارة مصنوعة من مادة كاربيد التنغستين مثبتة بصورة شاقولية في جسم القاشط ، وهي مبينة في الشكل (4 – 35). ويمكن أن يحتوي القاشط على ثلاث أو ست أسطوانات ، تحتوي هذه الأسطوانات على أسنان قطع قابلة للتآكل من جراء العمل ، ولذلك يمكن تبديل هذه الأسطوانات بأخرى جديدة أو تبديل نوعها بما يتناسب وطبيعة الصخور التي يجري قشطها . وبصورة عامة يتم إنزال القاشط الأول مباشرةً بعد رأس الحفر للحصول على حفرة قياسية عند حفر الطبقات الصلبة والحاكة ، والثاني يربط ضمن الثلاث أنابيب الأولى لأعمدة الحفر .



الشكل (4 – 35) القواشط الدوارة .

4-1-2-4-5- ماص الصدمات (Shock-Subs) أو مخمد الاهتزازات (Shock Absorber) :

وهو جهاز أو أداة توضع بين رأس الحفر وأعمدة الحفر ، ويستخدم عادةً لامتصاص الاهتزازات الالتوائية والشاقولية التي تتولد أثناء عملية الحفر ، والتي يمكن أن تؤدي إلى تقليل زمن عمل رأس الحفر ، وإلى تقييد قيمة الحمل وعدد الدورات التي يمكن أن تستخدم . توضع المخمدات عادةً فوق رأس الحفر مباشرةً لكي يعمل كماص للاهتزازات الكبيرة ، ومع ذلك فإن متطلبات المركزة توجب وضع ماص الصدمات على مسافة (9.15 m) 30 ft أو (18.3 m) 60 ft فوق رأس الحفر .

4-1-2-4-6- الوصلات (Subs) :

وهي عبارة عن عناصر وصل ما بين العناصر المختلفة لمجموعة مواسير الحفر ، والتي تختلف فيما بينها من حيث القطر ونوع الشرار ، وهي مبينة في الشكل (4 – 36) . والوصلة هي عبارة عن قطعة أنبوبية تكون نهاياتها [2] :

– ذات أسنان خارجية (شرارها خارجي) (PIN) ، وتستخدم لوصل عناصر مجموعة مواسير الحفر ذات الشرار الداخلي (BOX) مع بعضها .

– أو ذات أسنان داخلية (شرارها داخلي) وذلك لوصل عناصر مجموعة مواسير الحفر ذات الشرار الخارجي مع بعضها .

– أو وصلات انتقالية (Reduced Section Subs) أو واقية(Cross Over Subs)، مخصصة للانتقال من أحد أنواع الشرارات إلى نوع آخر ، ولوصل عناصر مجموعة مواسير الحفر ذات الأقطار المختلفة ، ثم لوصل بعض المعدات المساعدة (أجهزة الاصطياد مع مجموعة مواسير الحفر – قلم الحفر مع مواسير الحفر) .

تعطى تشكيلة الحفر على الشكل التالي (على سبيل المثال) :

Bit 12 1/4"+ DC 9"-9 m +DC 8"-18 m +DC 7"-216 m + DP 5"

أي : دقاق بقطر "12 1/4 ، تعلوه أعمدة حفر متعددة الأقطار :

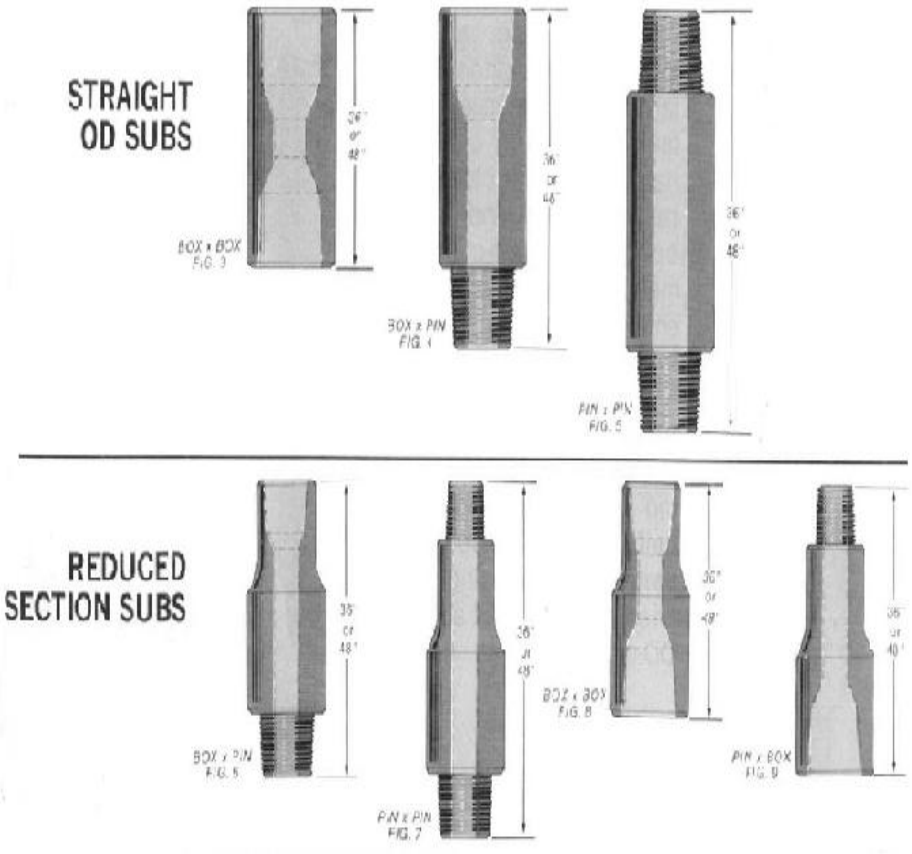
أعمدة حفر بقطر "9 بطول 9 m ؛ أعمدة حفر بقطر "8 بطول 18 m ؛ أعمدة حفر بقطر "7 بطول 216 m ؛ مواسير حفر بقطر "5 .

مثال آخر :

Bit 8 1/2" + Near bit stabilizer + Shock Sub + 1 DC 6 1/4" + Stab + 4 DC 6 1/4"+ Stab + 14 DC 6 1/4" + Jar + 1 DC 6 1/4" + 15 HWDP 5"+ DP 5"

أي : دقاق بقطر "8 1/2 ، يليه ممركز فوق رأس الحفر مباشرةً ، يليه ماص للصدمات، يليه عمود حفر بقطر "6 1/4 يعلوه ممركز ، ثم أربعة أعمدة حفر بقطر "6 1/4 ، ثم ممركز

ثم 14 عمود حفر بقطر "6 1/4 ، يليه من الأعلى مطرقة هيدروليكية Jar ، ثم مواسير حفر مثقلة عددها 15 ماسورة بقطر "5 ، وأخيراً مواسير حفر عادية بقطر "5 .



الشكل (4 – 36) : وصلات مجموعة مواسير الحفر .