الحفر المخفي وتطبيقاته في اعمال المجاري

Trenchless Technology and It`s Application in Sewerage Works

اعداد المهندس : جعفر عبد الامير
دائرة مجاري بغداد

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

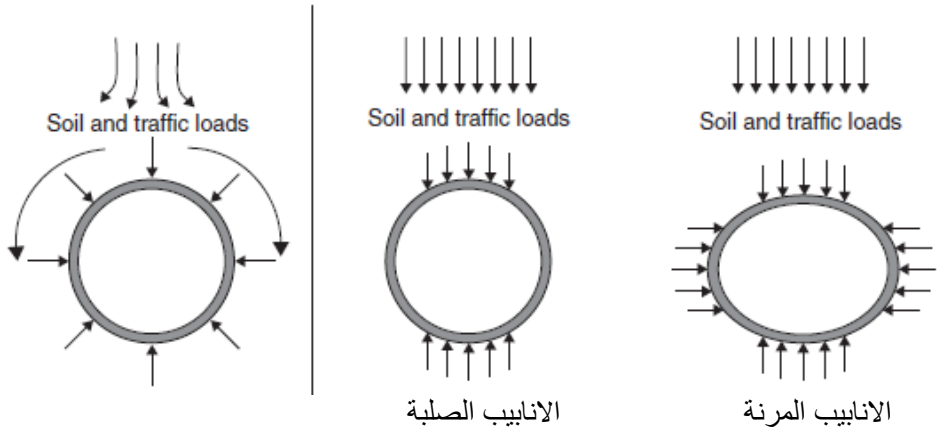
لغرض مواكبة التقنيات الحديثة في عملية مد انابيب المجاري فقد تم اعداد هذا البحث والخاص بتقنية الحفر المخفي (Trenchless Technology) حيث بدأت فكرة انشاء انابيب مجاري مدفونة تحت الارض في العصر الحديث في عام ١٩١٣ عندما لاحظ عميد كلية ولاية ايوا تأثر عملية التنقل حيث تصبح الطرقات عبارة عن مستنقعات موحلة وخصوصا في موسم الامطار وللتخلص من هذه الظاهرة قام بانشاء خطوط انابيب على طول الطرقات لتصريف مياه الامطار ومنذ ذلك الحين كانت هناك انواع متعددة من الانابيب حيث انها يجب ان تتحمل كافة الاحمال الناتجة عن الدفن والاثقال المتحركة على الطرقات .

ان الطريقة المعتادة في الحفر الخاص بمد الانابيب هي طريقة الحفر المفتوح (Open Cut Method) والمتمثلة بحفر خندق ومد انبوب ومن ثم اعادة الدفن وهذا يتطلب اعمال كثيرة نستغني عنها في حالة الحفر المخفي وندرج فيما يلي جدول يوضح بعض الاختلافات بين الطريقتين :

ت	الحفر المفتوح	الحفر المخفي
١	يحتاج الى اسناد التربة على طول مسار الحفر	قد يحتاج الى اسناد التربة في بعض الحالات ولمناطق محدودة جدا (مناطق دخول وخروج الماكنة)
٢	يحتاج الى منفذ لتصريف المياه وبكميات كبيرة	لا يحتاج الى تصريف المياه الى في حالات محدودة
٣	يحتاج الى عمل وسادة تحت الانبوب مع استبدال جزء من التربة مع الحدل	لا يحتاج الى استبدال التربة او عمليات الحدل ولا يحتاج الى وسادة
٤	يجب حفر مسار الانبوب بالكامل	بعض الطرق المستخدمة لا تحتاج الى اعمال حفر والبعض الاخر يحتاج الى حفر محدود
٥	قد يحصل ضرر لبعض الخدمات المجاورة او المتعارضة مع عملية الحفر او الحاجة لاسناد بعض الخدمات للحفاظ عليها من الضرر	لا تحتاج الخدمات المجاورة الى اي اسناد ويمكن الحفاظ عليها من خلال تحديد مواقعها بدقة وتجنبها
٦	يحتاج الى تكسير اكساء الطرق والارصفة ومن ثم اعادتها وهذه تعتبر كلفة اضافية للعمل	لا يحتاج الى تكسير اكساء الطرق والارصفة الا في مناطق محدودة
٧	يتطلب قطع طريق المرور وايجاد طرق بديلة في اغلب الاحيان	يتطلب قطع جزئي للطريق وفي حالات محدودة وحسب الطريقة المستخدمة
٨	وجود ضوضاء اثناء العمل مسببة الازعاج للمناطق المجاورة للعمل	بعض الطرق المستخدمة ليس فيها اي ضوضاء والبعض الاخر تكون فيها ضوضاء ذات نطاق محدود
٩	في الاعماق القليلة يكون العمل ارخص من الحفر المخفي	في الاعماق العالية يكون العمل ارخص من الحفر المفتوح

ان استخدام طريقة الحفر المخفي يجنبنا الكثير من المشاكل الوارد ذكرها اعلاه حيث يمكن الاستغناء في كثير من الحالات عن قطع الطرق او سحب كميات كبيرة من المياه او الاضرار

بالخدمات التحتية او الضوضاء ويكون التعامل مع كميات محدودة من التربة او الحاجة الى تكسير واعادة اكساء الطرق .
في حالة الحفر المفتوح فان احمال التربة اضافة الى الاحمال المتحركة فوق مستوى سطح الارض سوف تؤثر على الانبوب بشكل غير منتظم مما قد يؤدي الى تغير في شكل مقطع الانبوب في حالة الانابيب المرنة (Flexible) او الى زيادة الاجهادات في حالة الانابيب الصلبة (Rigid) وحسب نظرية مارستون و اما في حالة الحفر الخفي فان الاحمال تتوزع بشكل منتظم حول الانبوب مما يقلل من التشوهات التي يمكن ان تحصل في مقطع الانبوب وكما موضح في الشكل (١) وهذا الامر يعتبر كنقطة ايجابية لصالح الحفر المخفي .



الشكل (١) : يوضح تأثير احمال التربة على الانابيب : (أ) في الحفر المخفي , (ب) الانابيب الصلبة والمرنة في الحفر المفتوح

نظرية مارستون :

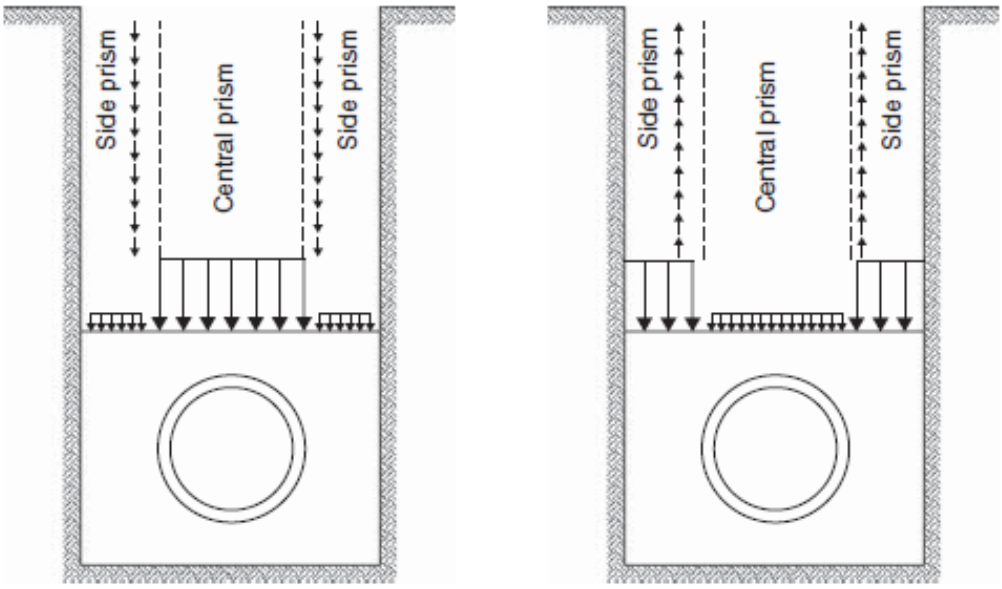
تقسم هذه النظرية الانابيب الى نوعين , الانابيب الصلبة (الكونكريت ,الاسبست ,الطيني المزجج) , والانابيب المرنة (باقي الانواع) وتشرح طريقة تصرف هذه الانابيب تحت الاحمال التي تكون لمستوى فوق الانبوب حيث تقوم بتقسيم تربة الدفن فوق الانبوب الى ثلاثة كتل , الكتلة الاولى هي كتلة التربة الواقعة فوق الانبوب مباشرة وبعرض مساوي لقطر الانبوب الخارجي اما الكتلتين الثانية والثالثة هما كتلتي التربة الواقعة فوق منطقة الدفن بجانبي الانبوب وبعرض مساوي للاجزاء المتبقية من الخندق على جانبي الانبوب ونبين فيما كل حالة :-

١. الانابيب الصلبة :

تفترض هذه النظرية عدم حصول اي تغير في شكل الانابيب الصلبة نتيجة لاحمال التربة الواقعة فوق الانبوب (الكتلة الاولى) ولكن نتيجة لانضغاط تربة الكتلتين الثانية والثالثة الواقعة على جانبي الانبوب وحصول هطول فيها وبسبب وجود اجهاد القص بين الكتلة الاولى من جهة والكتلتين الثانية والثالثة من جهة اخرى فسوف يتحول جزء من وزن الكتلتين الى الكتلة الاولى مسببة زيادة الحمل المسلط فوق الانبوب وكما موضح في الشكل (٢- أ) .

٢. الانابيب المرنة :

تفترض هذه النظرية حصول تغير في شكل الانابيب المرنة الى الشكل البيضوي نتيجة لاحمال التربة مؤدية الى حصول هطول للتربة فوق الانبوب (الكتلة الاولى) وبسبب وجود اجهاد القص بين هذه الكتلة والكتلتين الثانية والثالثة فسوف يتحول جزء من وزن الكتلة الاولى الى الكتلتين الثانية والثالثة مسببة تقليل الحمل المسلط على الانبوب وكما موضح في الشكل (٢- ب) .



(أ) الانابيب الصلبة (ب) الانابيب المرنة

الشكل (٢) : يوضح تأثير احمال التربة على الانابيب الصلبة والمرنة في الحفر المفتوح حسب نظرية مارستون .

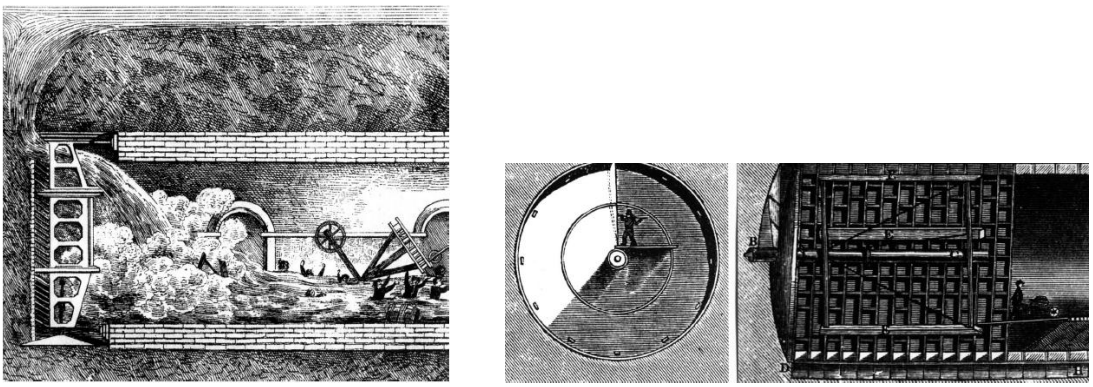
ولغرض اثبات هذه النظرية تم مد انبوب كونكريتي دائري بعمق (١٤ م) مع وضع مادة فوم البوليسترين فوقه مباشرة تحت تربة الدفن وتبين ان مقدار القوة المسلطة على الانبوب تمثل (٢٥ %) من وزن التربة فوق الانبوب (الكتلة الاولى) وكذلك تم مد انبوب على شكل بوكس كونكريتي على عمق (١٠ م) مع وضع الفوم بنفس الطريقة وتبين ان مقدار القوة المسلطة على الانبوب تمثل (٥٠ %) من وزن التربة فوق الانبوب (الكتلة الاولى) , ولنفس البوكس الكونكريتي ولنفس العمق ولكن بدون استخدام الفوم تم قياس القوة المسلطة على الانبوب وتبين انها تمثل (١٢٠ %) من وزن التربة فوق الانبوب (الكتلة الاولى) .

طرق الحفر المخفي :

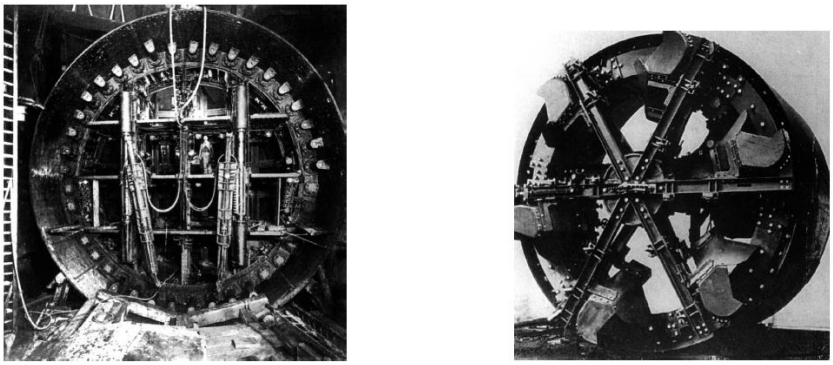
تم استخدام الحفر المخفي لاول مرة في اعمال مد نفق في القرن التاسع عشر واقتصرت في حينها على عبور المشاة وكانت بدائية وتعتمد على الجهد البشري اكثر من اعتمادها على الالة وكانت هناك محاولات لتطوير اسلوب العمل من خلال الاعتماد على الالة بشكل اكبر مع ادخال تقنيات تقوم بتنفيذ العمل بشكل ادق ففي منتصف القرن العشرين تم انشاء انفاق ولكنها استغرقت وقتا طويلا حتى انجزت حيث واجهتها الكثير من المعوقات ولكن تم تطوير واستخدام الحفر المخفي في اعمال المجاري في الفترة مابين سبعينيات وثمانينيات القرن الماضي ومن ثم اخذت

بالتوسع والتطور لتشمل قطاعات كثيرة والشكل (٣) يوضح بعض المكائن التي كانت تستخدم سابقا ويمكن تصنيف طرق الحفر المخفي الى ثلاثة اصناف حسب الغاية منها :

اولا :- مد خطوط انابيب جديدة .
ثانيا :- استبدال الانابيب القديمة .
ثالثا :- تأهيل الانابيب القديمة بواسطة التبطين .



(أ) (ب)



(ج) (د)

الشكل (٣) : (أ) مخطط ماكنة حفر مخفي استخدمت في القرن التاسع عشر , (ب) مخطط لفضيان نفق اثناء تنفيذه تحت نهر التايمز في القرن التاسع عشر (ج , د) صور مكائن حفر مخفي استخدمت في بداية القرن العشرين .

ونذكر فيما يلي طرق الحفر المخفي وتفاصيل كل طريقة :

اولا :- مد خطوط انابيب جديدة :-

١. طريقة دفع الانبوب : (Pipe Jacking)

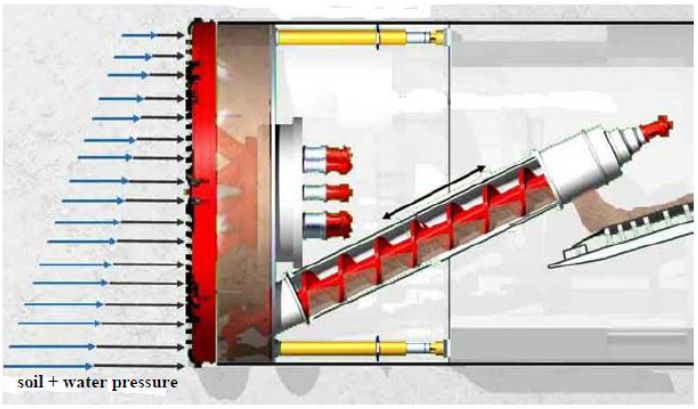
في هذه الطريقة يتم استخدام ماكنة حفر الانفاق (Tunnel Boring Machine) (TBM) الشكل (٤) , حيث يتم تنفيذ حفرة او (بئر) (Pit) في بداية الخط واخرى في نهايته

تستخدم الاولى لادخال الماكنة وملحقاتها والعمال وقطع الانبوب واخراج التربة الفائضة من عمليات الحفر ويتم اخراج الماكنة من الحفرة الثانية بعد اتمام عملية مد الانبوب .
تتلخص هذه الطريقة بوضع ماكنة الحفر في البئر المخصص لها ثم يتم دفعها بواسطة مكبس هيدروليكي يتناسب مع حجم الانبوب حيث تقوم الماكنة بحفر التربة والتقدم الى الامام ومن ثم يتم دفع الانابيب الواحد تلو الاخر خلف الماكنة بواسطة المكبس الهيدروليكي الذي يستند على كتلة كونكريتية يتم انشاؤها خلف المكبس داخل البئر ويعتمد حجمها على قوة الدفع المطلوبة الى ان تصل الماكنة والانابيب خلفها الى البئر الثاني وتصمم هذه الانابيب لتتحمل احمال التربة والاحمال المتحركة على الطرقات اضافة الى الضغط الهيدروليكي الناتج عن عملية الدفع وتستخدم هذه الطريقة للانابيب ذات اقطار تبدأ بـ (١ م) وتصل الى مايقارب (٣,٦ م) ولكن كلما ازداد قطر الانبوب ازدادت الحاجة الى مكبس هيدروليكي ذات طاقة اعلى وكذلك ازدادت صعوبة عملية الدفع وبالتالي سوف تقل المسافة التي يمكن دفعها , تستخدم في هذه الطريقة نوعين من مكائن الحفر كالاتي :

الشكل (٤) : انواع مختلفة من مكائن (TBM)

أ- ماكنة موازنة ضغط الارض : (EPBM) (Earth Pressure Balance Machine)

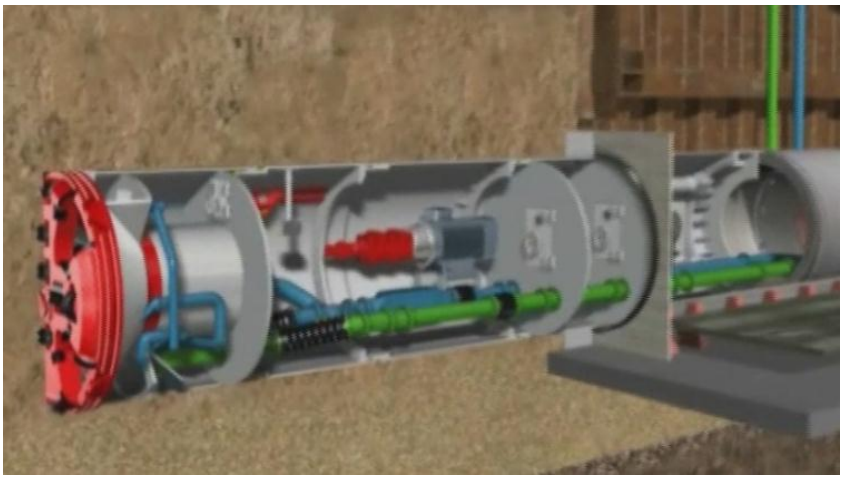
تتكون هذه الماكنة من رأس القطع والذي يقوم بحفر التربة يحتوي على اسنان للحفر مع اقراص في بعض الحالات لتكسير الاحجار والصخور وهناك انواع متعددة من هذه الرؤوس تتناسب مع انواع التربة المختلفة وتوجد في بعض المكائن كسارات تساعد على تكسير وتفتيت الصخور لتسهيل عملية نقلها وبعد عملية الحفر والتكسير يتم رفع التربة بواسطة لولب حلزوني الى حزام ناقل يقوم باخراج التربة وتحميلها الى عربات خاصة بذلك والتي تنقل التربة بواسطة سكة حديدية الى خارج النفق عن طريق البئر الذي دخلت منه الماكنة وتكون منطقة رأس القطع مغلقة بشكل كامل عن باقي الماكنة ويتم التحكم بالضغط المواجه لضغط الارض من خلال التحكم بالتربة المارة من خلال اللولب المذكور , الشكل (٥) يوضح بعض الاجزاء الداخلية لماكنة (EPBM).



الشكل (٥) : مقطع طولي داخل ماكنة (EPB)

ب- ماكنــة المــلاط الطينــي : (SPBM) (Slurry Pressure Balance Machine)

تكون هذه الماكنة مشابهة للماكنة السابقة ولكن لا تحتوي على الحزام الناقل واللولب الحلزوني والعربات الناقلة ,والموضحة في الشكل (٦) حيث يتم التخلص من تربة الحفر بواسطة ضخ مادة الفوم او مادة البنتونايت الى منطقة رأس القطع والبنتونايت هي عبارة عن مواد طينية المعروفة محليا بأسم (طين خاوة) والتي تخلط مع الماء لتكون ملاط طيني حيث يمتزج الملاط مع تربة الحفر ويستفاد منها ايضا لموازنة ضغط الارض بواسطة ضغط البنتونايت اوالهواء المضغوط ومن ثم يتم سحب الملاط الطيني (slurry) وضخه الى خارج النفق وتصفيته بواسطة معدات خاصة بذلك ويستفاد من الماء بعد التصفية لتكوين البنتونايت واستخدامه في عملية الحفر مجددا , تستخدم هذه الطريقة في الحالات التي تكون فيها مستوى المياه الجوفية عاليا وان تكون التربة ذات نفاذية عالية .



الشكل (٦) : مقطع طولي داخل ماكنة (SPB)

الانابيب التي تستخدم في طريقة دفع الانبوب هي انابيب الفولاذ والكونكريت و(GRP) ويجب ان تكون الانابيب ضمن الضوابط الواجبة التالية :

- **ان لا يزيد الفرق في قطر الانبوب بالاتجاهين العمودي والافقي عن ١% او (٠,٢٥ أنج) ايهما اقل .**

- **ان لا تكون هناك اي عيوب او تشققات او فقاعات ظاهرة في الانبوب وفي حالة وجودها يجب ان لا تزيد عن ١٠ % من سمك جدار الانبوب ويتم رفض الانبوب اذا كانت النسبة اكبر من ذلك .**
- **ان لا يزيد الانحراف في تساوي وجه الانبوب عن (٠,٠٤ أنج) .**
- **ضمان عدم وجود نتوءات عالية .**
- **ضمان عدم وجود اختلاف او عدم كفاية في سمك جدار الانبوب .**
- **ضمان عدم وجود اضرار نتيجة التصنيع او النقل .**

وكذلك يجب استخدام مواد تتحمل الضغط العالي بين الانابيب تستخدم كوسادة تمنع تكسر او تقشر الانابيب نتيجة لقوة الدفع .

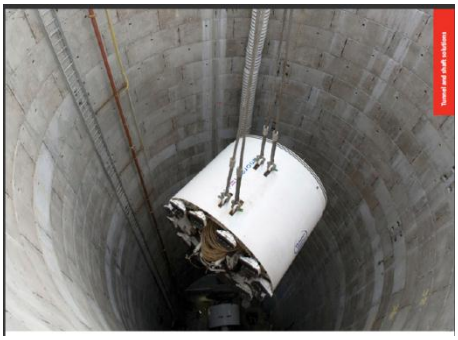
<u>الحد الادنى لغطاء التربة</u> :

ان الحد الادنى المسموح به لغطاء التربة هو (٢ × القطر الخارجي للانبوب) او (٦ أنج) وتوصي بعض المصادر العلمية بزيادة العمق في حالة استخدام مكائن (Slurry Machine) او في حالة التربة غير المستقرة ومن متطلبات العمل في هذه الطريقة :

- **ابار الدخول والخروج**
- **ماكنة الحفر (TBM)**
- **منظومة استخراج التربة**
- **مكبس الدفع الهيدروليكي مع الهيكل**
- **كتلة الاسناد**
- **محطات الدفع الوسطية (حسب الحاجة)**
- **منظومة التهوية**
- **منظومة التوجيه الليزري**
- **الانبوب**
- **المعدات المساعدة (الرافعات , المضخات , شاحنات النقل)**

يجب ان تكون كتلة الاسناد تتحمل قوة تعادل ضعفين قوة الدفع المتوقعة لدفع الانبوب الشكل (٧) يوضح بعض المعدات المستخدمة في طريقة دفع الانبوب .

(أ)



(ب)

الشكل (٧) : (أ) مكبس الدفع الهيدروليكي , (ب) ماكنة حفر توضع داخل بئر الدخول

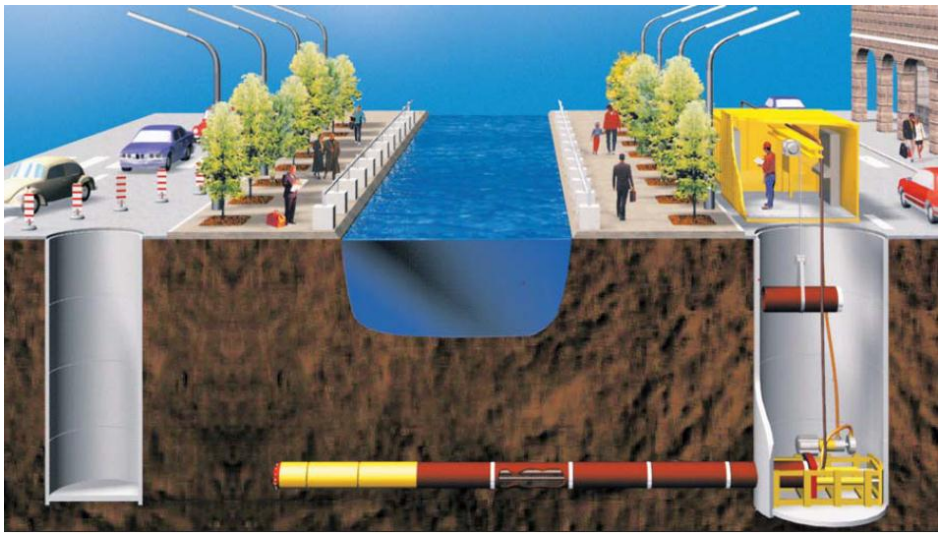
<u>تفاصيل العمل</u> :

- **يتم حفر ابار الدخول والخروج مع اسناد جوانب الحفر للابار وتصريف المياه في حالة الاحتياج لضمان العمل الامن .**

- **نصب هيكل الدفع والمكبس الهيدروليكي مع توجيه الماكنة ومن ثم الانبوب خلف الماكنة باتجاه مسار الحفر ويجب حماية الانبوب من تعرضه الى اي اضرار قد تحصل نتيجة عملية الدفع الى النفق**
- **يستخدم في هذه الطريقة المواد المزيتة (البنتونايت) لغرض تسهيل انزلاق الانبوب داخل مسار الحفر لغرض تقليل قوة الدفع وذلك من خلال ضخ البنتونايت في ثقوب صغيرة موجودة في جدار الانبوب**
- **ان قوة الدفع المطلوبة لدفع الانبوب يجب ان تعادل (٣/١) قوة تحمل الانبوب لضمان عدم حصول اضرار في الانبوب نتيجة الضغط العالي , وتعتمد قوة الدفع على العوامل التالية :**

- **طول مسافة الانبوب المراد دفعه**
- **وزن وقطر الانبوب**
- **طبيعة التربة**
- **مستوى المياه الجوفية وطريقة تصريفها**
- **القوة المواجهة لماكنة الحفر**
- **المسافة بين سطح الانبوب الخارجي والتربة**
- **التزييت**
- **استقامة مسار الانبوب**
- **محطات الدفع الوسطية**
- **احتمالية توقف العمل**

تستخدم في حالات الدفع لمسافات طويلة محطات دفع وسطية وهي عبارة عن مجموعة من المكابس الهيدروليكية تعمل بالدفع بالتناوب فيما بينها مع محطة الدفع الاساسية لتكون حركة اشبه بحركة الدودة ويتم رفع هذه المحطات بعد اكمال عملية مد الانبوب .
ومن مشاكل هذه الطريقة في حالة توقف العمل لمدة ٨ ساعات يؤدي الى زيادة في قوة الدفع المطلوبة بمقدار يتراوح بين (٢٠-٥٠) % من قوة الدفع الاساسية .



الشكل (٨) : توضيح عملية دفع الانبوب بتفاصيلها

٢. طريقة الحفر النفقي (طريقة القطع) : (Segment Type)

وهي طريقة مشابهة لطريقة دفع الانبوب في اسلوب الحفر ولكن يتم استخدام قطع كونكريتية مقوسة بدلا عن الانابيب ويكون عدد القطع لكل حلقة بين (٥-٧) قطع تربط بواسطة براغي

فيما بينها وتكون كل قطعة محاطة بشريط مطاطي لمنع تسرب المياه الجوفية في مناطق التقاء القطع الشكل (٩) يوضح ماكنة الحفر والقطع المستخدمة في تبطين النفق وتكون اشكال هذه القطع على نوعين :

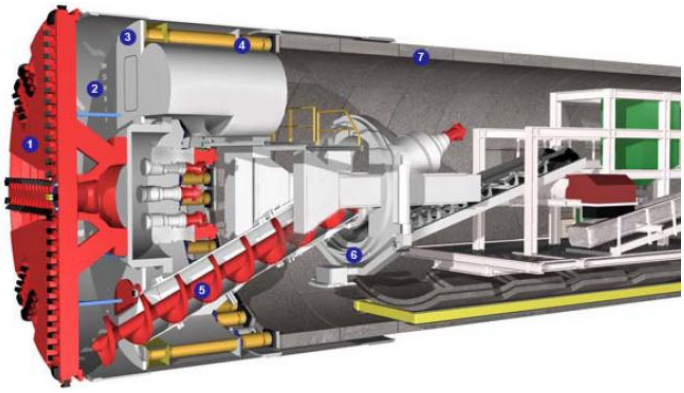
- **النوع الاول : ذات جوانب مائلة لغرض ربطها وقفلها مع بعض**
- **النوع الثاني :ذات جوانب غير مائلة ما عدا قطعتين حيث يتم قفل الجوانب المائلة للقطعتين بقطعة صغير تسمى المفتاح (Key) .**

تفاصيل العمل :

بعد انشاء ابار الدخول والخروج يتم تسليح منطقة دخول الماكنة الى التربة (بداية النفق) بشكل يحيط منطقة الحفر والتي تسمى المظلة (Conapy) وبعد المباشرة بعملية الحفر يتم اخراج التربة بواسطة العربات اوبطريقة الملاط الطيني وادخال القطع الكونكريتية بواسطة العربات ليتم تثبيتها بواسطة رافعة خاصة مرفقة بماكنة الحفر ويتم ربطها بواسطة البراغي فيما بينها وبعد عملية الربط تستند الماكنة بواسطة مكابس على نفس القطع لتتقدم الى الامام في عملية الحفر وتقوم كذلك بضغط القطع للتراصف مع بعضها البعض وبعد اكمال عملية الحفر يتم حقن مادة الكونكريت في الفراغ المتكون بين القطع المكونة للنفق (الانبوب) والتربة على طول المسار ثم يبطن النفق من الداخل بواسطة حقن الكونكريت على قالب يوضع داخل النفق وتوضع الواح بلاستيكية (PVC) لتبطين طبقة الكونكريت المحقون للحماية من التأثيرات الضارة التي ترافق مياه المجاري .

يتم استخراج التربة بنفس طريقة دفع الانبوب ولا حاجة هنا الى استخدام مكبس الدفع مع الهيكل او المعدات المرافقة له , تستخدم هذه الطريقة لتنفيذ اقطار تبدأ من قطر (٢ م) وتصل الى مايقارب (١٩ م) في تنفيذ انفاق النقل وحسب قياسات الشركات المصنعة .

ومن ميزات هذه الطريقة يمكن ان يتم تنفيذ انفاق لمسافات طويلة قد تصل لعدة كيلومترات وكلما زادت المسافة زادت الحاجة الى الخدمات الخاصة بالعمل المرافقة لعملية الحفر وكذلك نقل التربة والقطع .



(ب) (أ)

الشكل (٩) : (أ) مقطع طولي داخل ماكنة (EPB) لتنفيذ نفق بطريقة القطع , (ب) معمل لانتاج القطع التي تستخدم لتبطين النفق .

٣. Microtunneling :

وهي طريقة مشابهة الى طريقة دفع الانبوب وتستخدم للاقطار من (٣٠٠ ملم) الى مايقارب (٢٠٠٠ ملم) حيث توجه بواسطة الليزر ويتم التحكم بالعمل بواسطة اجهزة

خاصة ولا توجد حاجة الى دخول العمال الى منطقة الحفر ولا يمكن العمل بهذه الطريقة في حالة وجود احجار بقياس يعادل (٣/١) قطر رأس القطع , يتم اخراج التربة باسلوب الملاط الطيني (Slurry) او بواسطة بريمة كما في طريقة الحفر بالبريمة التي سيرد ذكرها لاحقا .
يجب ان لا يزيد الفرق في قطر الانبوب في الاتجاهين العمودي والافقي عل ١% او (٠,٢٥ أنج)
ايهما اقل ويجب ان يكون ارتفاع التربة بمقدار ٣ مرات قطر الانبوب او (٦ قدم) ويجب ان لا تزيد المسافة بين ظهر الانبوب وباطن الحفر عن (١ أنج) في التربة المرنة اما في التربة الصخرية فيجب ان لا يزيد عن (١,٥ أنج) .

٤. الحفر بالبريمة : (Auger Boring)

وتتمثل هذه الطريقة بحفر ابار الدخول والخروج ومن ثم يتم نصب ماكنة الحفر وكتلة الاسناد ومنظومة الدفع وبعد المباشرة بعملية الحفر بواسطة بريمة تتناسب مع قطر الانبوب المطلوب دفعه وتكون البريمة محاطة بغلاف حديدي يمتد على طول البريمة لضمان عدم انهيار التربة وكذلك يساعد على نقل التربة خلاله الى بئر الدخول لغرض التخلص من التربة بعد ذلك بواسطة تجميعها بحاويات ومن ثم رفعها , ومن ضمن عملية الحفر يقوم المكبس بدفع ماكنة الحفر اثناء دوران البريمة لاتمام عملية الحفر ويستخدم المكبس بعد انتهاء عملية الحفر لدفع الانبوب المطلوب من بئر الدخول والذي بدوره يقوم بدفع الغلاف الحديدي مع البريمة لاخراجها من بئر الخروج والشكل (١٠) يوضح ماكنة حفر بالبريمة.
تتكون هذه المنظومة من الاجزاء التالية :

- **رأس القطع ويتم تركيبه في مقدمة البريمة لغرض حفر التربة بواسطة الدوران لتكوين مسار للانبوب المطلوب تمديده .**
- **البريمة والتي تركب خلف رأس القطع وترتبط من الجهة الثانية بماكنة التدوير وتقوم بنقل التربة داخل الانبوب الحديدي بواسطة الدوران لاخراج التربة من بئر الدخول .**
- **الانبوب الحديدي المحيط بالبريمة**
- **ماكنة التدوير مع منظومة الدفع والتي تقوم بتدوير البريمة ورأس القطع مع دفع البريمة والانبوب الحديدي الى الامام لغرض الحفر ونقل التربة الى بئر الحفر**
- **منظومة الحقن والتي تقوم بحقن المواد المزيتة (البنتونايت) لغرض تقليل الاحتكاك بين الانبوب الحديدي والتربة وبالتالي تقليل القوة المطلوبة لدفع الانبوب**
- **منظومة السيطرة والمراقبة**
- **منظومة اخراج التربة للتخلص منها وتجهيزها لغرض نقلها خارج منطقة العمل**

تستخدم هذه الطريقة لمد الخدمات التي لا تحتاج الى انحدار كون عملية الحفر لا تتم بتوجيه دقيق وان هذه الطريقة مفيدة لعبور بعض العوائق كالشوارع لتجنب تكسير الاسفلت وقطع مرور السيارات .
وسيتم توضيح طريقة العمل ضمن الطريقة الاتية الا ان هذه الطريقة لا تحتوي على منظومة التوجيه لعدم الحاجة اليها في هذه الطريقة .

الشكل (١٠) : ماكنة حفر بالبريمة

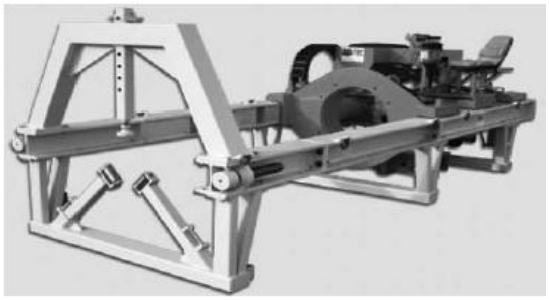
٥. الحفر بالبريمة الموجهة : (Pilot Tube Microtunneling)

وهي اسلوب مطور عن طريقة الحفر بالبريمة حيث تستخدم هذه الطريقة للحصول على انحدار دقيق لاي خدمة يمكن تمديدها بهذه الطريقة وخصوصا انابيب المجاري وتستخدم هذه الطريقة في التربة المرنة ولا تستخدم للاعماق العالية وان الاعمال التي تنفذ بهذه الطريقة يمكن ان تصل الى ما يقارب (١٥٠ م) .
ان تصاميم الانابيب التي تستخدم في هذه الطريقة تعتمد على نوع التربة وحمل التربة فوق الانبوب ومستوى المياه الجوفية والاحمال على سطح الارض وقوة الدفع ومستوى التزييت بالبنتونايت .
ان منظومة العمل هي نفس منظومة العمل لطريقة الحفر بالبريمة ويضاف اليها منظومة توجيه وتتكون من جهاز الثيودولايت مزود بكامرة مع منظومة سيطرة مع انبوب التوجيه والذي هو عبارة عن انبوب يتكون من عدة قطع تركب مع بعضها ويكون الجزء الاول من هذا الانبوب مغلق من الامام وتكون مقدمته بشكل مائل وتوضع في خلفية الجزء الاول مصباح مضاء يمكن مشاهدته بواسطة كامرة الثيودولايت .
طريقة العمل :

- **يتم عمل مسح لمسار الانبوب لمعرفة مناسيب الارض الطبيعية .**
- **تحديد جميع الخدمات الظاهرة والتحتية التي يمكن ان تتعارض او تعيق العمل .**
- **اجراء تحريات للتربة والتي تمكننا من اتخاذ القرارات المناسبة , و في حالة وجود كميات كبيرة من الاحجار او الجلمود في التربة فان هذه الطريقة غير مناسبة للعمل في هكذا انواع من التربة .**
- **يجب ان يتم تحديد مستوى الانحدار المطلوب مع تحديد الخدمات القريبة لتجنب حدوث اي اضرار بها اثناء العمل .**
- **بعد اعمال الحفر لبئري الدخول والخروج ونصب الماكنة يتم دفع قطع انبوب التوجيه بواسطة منظومة الدفع والذي يتم توجيهه بواسطة الثيوديولايت ومراقبته بواسطة شاشة المراقبة حيث تكون القطعة الاولى من انبوب التوجيه (رأس انبوب التوجيه في الشكل (١١- أ)) بشكل مائل وعند الدفع فانه ينحرف باحد الاتجاهات ومن خلال شاشة المراقبة نعرف الجهة التي ينحرف اليها وبالتالي يتم تدويره وتتم عملية التدوير باستمرار لحين الحصول على المسار المطلوب .**

بعد تحديد المسار يتم وضع الانبوب الحديدي في نهاية انبوب التوجيه من جهة بئر الدخول ويحتوي الانبوب الحديدي في مقدمته على رأس القطع وبعده يتم تركيب البريمة الخاصة بنقل التربة حيث تجري عملية الحفر من خلال الدفع بواسطة منظومة الدفع الموضحة في الشكل (١١- ب) مع تدوير البريمة بواسطة الماكنة لغرض الحفر واخراج التربة ويتم اضافة انبوب مع بريمة كلما تقدم الحفر الى الامام واخراج قطع انبوب التوجيه من بئر الخروج .

(أ)



(ب)

الشكل (١١) : (أ) رأس انبوب التوجيه , (ب) ماكنة التدوير مع منظومة الدفع

يجب ان يكون سمك جدار الانبوب الحديدي لا يقل عن (٠,٢٥ أنج) وان تكون نسبة القطر الاكبر الى القطر الاصغر لا تزيد عن (١ %) او (٠,٢٥ أنج) وان لا يزيد الانحراف لكل (١٠ قدم) عن (٠,١٢٥ أنج) هناك بعض الحالات التي يتم فيها ترك الانبوب الحديدي في مكانه وادخال انبوب الخدمة داخله وفي هذه الحالة يجب ان يكون القطر الداخلي للانبوب الحديدي اكبر من القطر الخارجي لانبوب الخدمة بمقدار لا يقل عن (٦ أنج) على ان يتم حقن الفراغ بين الانبوبين بمادة مالئة وكذلك يجب لحام قطع الانبوب الحديدي مع بعضها في هذه الحالة لتجنب دخول المياه الجوفية الى داخل الانبوب .

٦. <u>الحفر بالصدم</u> : <u>(Pipe Ramming)</u>

تستخدم هذه الطريقة لغرض مد الانابيب المعدنية لعبور الطرق اوالسكك الحديدية وكذلك يمكن استخدامها في حالات الانقاذ لطريقة (HDD) او طريقة (PTMT) ويصعب من خلال هذه الطريقة تحديد المسار والانحدار بشكل دقيق وقد تظهر مشاكل نتيجة وجود الاحجار ضمن التربة في بعض الحالات وخاصة في حالة الانابيب ذات الاقطار الصغيرة حيث يمكن ان تؤدي الى تضرر الانبوب او الى انحرافه مما يتطلب وجود معلومات كافية عن التربة ,الشكل (١٢) يوضح عملية مد انبوب باسلوب الصدم.

طريقة العمل :

يتم انشاء بئر الدخول والخروج حيث يكون بئر الدخول ممتد بالاتجاه الافقي على امتداد الانبوب وبعدها يوضع الانبوب في بئر الدخول وتربط ماكنة الدفع في نهاية الانبوب من الخلف والتي تعمل باسلوب الصدم من خلال توجيه صدمات متتابعة لغرض دفع الانبوب خلال التربة .

ان نهاية الانبوب الامامية تكون مغلقة في الانابيب ذات الاقطار (٢٠٠ ملم) او اقل ويوضع في مقدمة الانبوب مخروط يسهل عملية دفع الانبوب اما الانابيب ذات الاقطار الاكبر فتكون نهاياتها مفتوحة مع وضع الة حادة في مقدمة الانبوب لقطع التربة واثناء عملية الدفع سيدخل التراب الى داخلها ومن ثم تستخرج التربة من داخل الانبوب بواسطة بريمة او بواسطة الماء المضغوط .

ويجب ان يكون هناك مجال للحركة بين الانبوب والتربة من الداخل والخارج بمقدار يتراوح بين (٠,٢٥ – ٠,٧٥ أنج) , يستخدم البنتونايت في تزييت الانبوب من الداخل والخارج لتقليل الاحتكاك بهدف تقليل قوة الدفع .

الشكل (١٢) عملية مد انبوب بطريقة الصدم

٧. طريقة الحفر الافقي الموجه : Horizontal Directional Drilling (HDD)

ان من مميزات هذه الطريقة امكانية تغيير المسار اثناء عملية الحفر لتجنب العوائق التي تظهر اثناء الحفر او لتغير الانحدار ويمكن تنفيذ العمل بواسطة انشاء ابار صغيرة او بدون الحاجة الى ابار في بعض الحالات ويمكن مد انابيب باستخدام هذه الطريقة لمسافة قد تصل الى (٢٠٠٠ م) , الشكل (١٣) يوضح ماكنة الحفر وبعض المعدات المستخدمة في طريقة (HDD) وان انابيب (HDPE) (High Density Polyethylene) هي اكثر انواع الانابيب استعمالا في هذه الطريقة .
هناك ثلاثة احجام من المكائن المستخدمة في هذه الطريقة (Mini, Midi, Maxi (HDD)) حيث يمكن تنفيذ انابيب تصل اقطارها الى (١٢ أنج) وعمق (٣٠ قدم) بواسطة ماكنة (Mini) ويمكن تنفيذ انابيب تصل اقطارها الى (٦٠ أنج) وعمق (٢٠٠ قدم) بواسطة ماكنة (Maxi) وهذه الماكنة مناسبة اكثر للتربة الصخرية وما بين هذين القياسات يمكن تنفيذها بواسطة ماكنة (Midi) .
هناك بعض المحددات التي يجب اخذها بنظر الاعتبار قبل المباشرة باعمال التنفيذ :

- **يجب ان لايقل الحد الادنى المسموح به لغطاء التربة عن الحدود المبينة في الجدول الاتي :**
- **يجب ان لاتقل قيمة (Standard Dimension Ratio) (SDR) عن (١١) والتي تمثل نسبة القطر الخارجي للانبوب مقسوما على سمك جدار الانبوب .**
- **يجب ان لا تزيد نسبة القطر الاكبر الى القطر الاصغر عن ١%**
- **يجب ان لا يزيد الانحراف الطولي لانابيب البلاستك والحديد والدكتايل عن (٠,١٢٥ أنج) لكل (١٠ قدم) اما انابيب (HDPE) فلا تحتاج لذلك .**
- **يجب ازالة كافة النتوءات التي تكون بمقدار يزيد عن (١٠%) من سمك جدار الانبوب .**
- **يتطلب توفير مساحة كافية لوضع الماكنة لغرض العمل بشكل آمن حيث ان هذه الماكنة تحتاج الى مسافة ارتداد لغرض مد اجزاء الحفر والوصول الى العمق المطلوب .**

- **ان يكون المسار مستقيم قدر الامكان لتقليل العوائق اثناء سحب الانبوب مع امكانية زيادة طول الانبوب المسحوب .**
- **ان التقوس في سلسلة قضبان الحفر يجب ان لا يقل عن القيم المستحصلة من المعادلة التالية وحسب المواصفة (ASTM 2005)**

$$R_{min} = D_{rod} \times 100$$

R_{min} : اقل تقوس مسموح لسلسلة القضبان

D_{rod} : قطر قضبان الحفر

(أ)

(ب)

الشكل (١٣) : (أ) ماكنة (HDD) مع جهاز تعقب المسار مع (**Reamer**) , (ب) قضبان الحفر

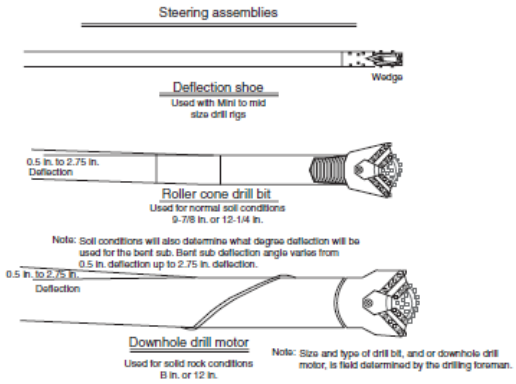
طريقة العمل ومحدداتها :

- **يتم لحام انابيب (HDPE) بواسطة ماكنة خاصة تقوم بقطع نهايات الانابيب للحصول على وجه صقيل ومن ثم صهرالنهايات بواسطة جهاز تسخين دائري (Butt Fusion) وبعدها تدمج النهايتين مع بعضها بواسطة دفع الانبوبين الى بعضهما لحين الالتحام وتعاد العملية الى ان يتكون انبوب بالطول المناسب , الشكل (١٤- أ) يوضح عملية لحام الانابيب .**
- **يتم لحام الانابيب الحديدية بالطريقة الاعتيادية المعروفة اما انابيب الدكتايل فيتم ربطها باستعمال المفاصل المقيدة (Restricted Joints) والتي سيتم شرحها لاحقا وانابيب (PVC) فيتم لحامها بنفس طريقة انابيب (HDPE) او بطريقة المفاصل المقيدة.**
- **تتم عملية الحفر بواسطة رأس الحفر الذي يتم ربط قضبان الحفر في نهايته والتي تكون باقطار تتراوح بين (٢-٦) أنج وتكون مقدمة رأس الحفر بشكل مائل في مكائن (Mini) وللحصول على حفر بمسار مائل في حالة وجود انحدار للمسار فان الماكنة تقوم بعملية الدفع فقط اما للحصول على مسار مستقيم فان الماكنة تقوم بالدفع مع تدوير قضبان و رأس الحفر , اما في مكائن (Maxi) فان رأس الحفر يحتوي على مسننات دوارة للحفر وهو مربوط على قضيب يميل بزاوية تتراوح بين (٠,٥-٢.٧٥) درجة ويتم الحصول على المسار المستقيم او المنحرف بنفس الطريقة السابقة , الشكل (١٤- ب) يوضح رؤوس الحفر .**
- **وبعد الوصول الى نهاية مسار الحفر يتم استبدال رأس الحفر بالة تكبير قطر الحفر (Reamer) , الشكل (١٥) يوضح مراحل تنفيذ العمل , وبعدها يربط الانبوب المطلوب تمديده من الجهة الثانية لألة التكبير ثم يتم سحب قضبان الحفر رجوعا مع الدوران لغرض تكبير مسار الحفر وسحب الانبوب المطلوب الى داخل المسار ويجب ان تكون بداية الانبوب مغلقة**

لضمان عدم دخول البنتونايت ومخلفات الحفر الى داخل الانبوب وفي حالة الاقطار الكبيرة فانه يمكن اعادة عملية التكبير لاكثر من مرة لحين الوصول الى القطر المطلوب ويجب عدم زيادة قطر الحفر عن (١,٥) مرة قطر الانبوب لتجنب تكون فجوات تؤدي الى حصول هبوط في التربة وان لا تزيد سرعة الحفر عن (١٠ قدم / دقيقة) .

- **يجب عدم ازالة السوائل المحيطة بالانبوب لغرض اعطاء الاسناد للانبوب والخدمات القريبة .**
- **ان زاوية الاختراق للتربة من جهة الماكنة تحدد من خلال امكانيات ماكنة الحفر والتي تقع بين (٨-٢٠) درجة وان افضل زاوية تتراوح بين (١٠-١٢) درجة اما زاوية الخروج من الجهة الاخرى فتكون بين (٥-١٢) درجة .**
- **اثناء عملية الحفر ومد الخط يتطلب مراقبة مسار الخط لضمان ان يكون حسب المسار المخطط له وذلك يكون بواسطة جهاز المراقبة من فوق الارض الذي يقوم بتتبع مسار الحفر حيث يوجد مع رأس القطع جهاز يبث اشارة يتم التقاطها عن طريق جهاز المراقبة .**

(أ)

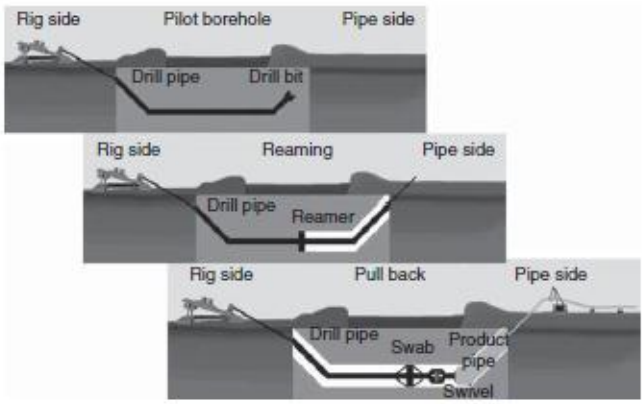


(ب)

الشكل (١٤) : (أ) ماكنة لحام انابيب (HDPE) او (PVC) , (ب) انواع من رؤوس الحفر

تستخدم في هذة الطريقة مادة البنتونايت للاغراض التالية :

- **قطع التربة المرنة .**
- **نقل الحركة الى رأس القطع**
- **تبريد ادوات الحفر مع الاجزاء الالكترونية .**
- **نقل الملاط الطيني الناتج من عملية الحفر .**
- **تثبيت مسار الحفر وتقليل احتمالية الانهيار .**
- **يساعد في تقليل الاحتكاك عند سحب الانبوب .**



الشكل (١٥) : مراحل تنفيذ العمل بطريقة (HDD)

ثانيا : استبدال الانابيب القديمة :

١. طريقة تكسير الانبوب : (Bursting)

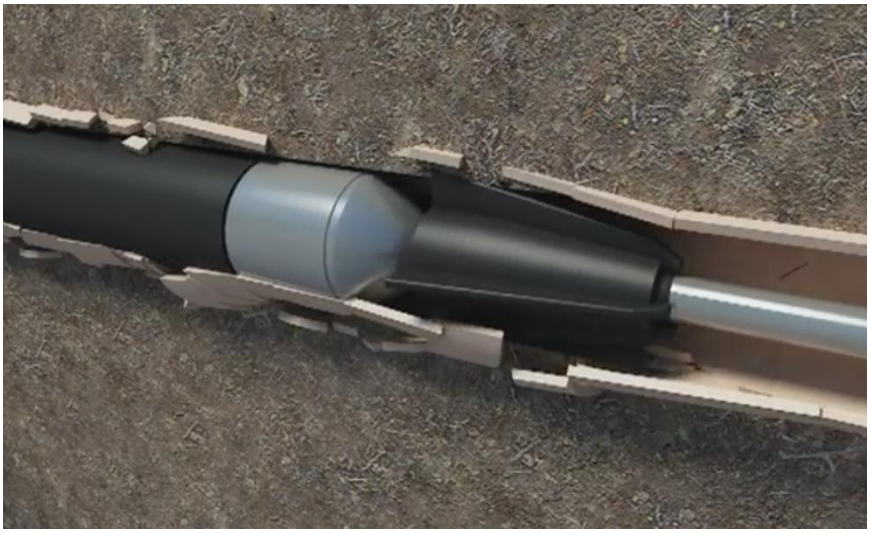
ان بدايات هذه الطريقة كانت في بريطانيا في عام ١٩٧٠ لاستبدال انابيب غاز باقطار (٣ أو ٤) أنج وتم تطويرها في الثمانينات في بريطانيا وامريكا لتستخدم في اعمال المجاري وحسب احصائيات عام ٢٠٠٦ فقد تم تنفيذ ما يقارب (٩٠٠٠ ميل) بهذه الطريقة , وتتلخص هذه الطريقة بسحب مخروط داخل الانبوب القديم المراد تغييره (الانبوب المضيف) بواسطة حبل معدني او سلسلة قضبان مما يؤدي الى تكسر الانبوب المضيف ويربط الانبوب الجديد في مؤخرة المخروط ليحل محل الانبوب المضيف والشكل (١٦) يوضح عملية التكسير ومد الانبوب ويجب ان لا تزيد قوة السحب عن (١٠ طن) للانابيب ذات قطر اقل من (١٦ أنج) ولا تزيد عن (٢٠ طن) للانابيب ذات قطر (١٦ أنج) او اكثر وتكون محددات الانابيب شبيهة بمحددات طريقة (HDD) .
ان عملية سحب المخروط تكون بشكل اسهل في حالة الانابيب المصنوعة من مواد قصيفة (الكونكريت غير المسلح , الاسبست , الطيني المزجج) بسبب تكسر هذه الانابيب اثناء دخول المخروط اما الانابيب المطيلية (الدكتايل او الفولاذية) فيتم تثبيت شفرات حادة على جوانب المخروط لغرض قص هذه الانابيب اثناء عملية تبديل الانبوب ولكن هناك صعوبة في عملية تبديل الانابيب الكونكريتية المسلحة .

انبوب الاستبدال :

ان انابيب (HDPE) هي الاكثر استخداما في هذه الطريقة ولكن يمكن استخدام انابيب (PVC) او الدكتايل من خلال استخدام المفاصل المقيدة .
يجب ان يكون قطر المخروط المستخدم اكبر من القطر الداخلي للانبوب القديم واكبر من القطر الخارجي للانبوب الجديد على ان لا يزيد الفرق في نصف القطر عن (١ أنج) عن الانبوب الجديد .
يمكن من خلال هذه الطريقة التبديل بانبوب ذو قطر اكبر بمقاس او مقاسين ولكن في حالة ثلاث مقاسات فانه تكون هناك خطورة على الخدمات القريبة من الانبوب .

طريقة العمل :

- **بعد ان يتم لحام الانابيب بالطول المطلوب اما في حالة استخدام المفاصل المقيدة فيكون تركيب المفاصل اثناء عملية مد الانبوب , يجب ان تكون تحمل مناطق اللحام معادلة لقوة تحمل الانبوب للسحب .**
- **بعد انجاز عملية اللحام يجب ازالة كافة النتوءات وان تكون منطقة اللحام لا تحتوي على منطقة يمكن ان يتسرب منها الماء .**
- **يجب ضمان عدم توقف جريان الماء للمقطع المراد اصلاحه من خلال عمل تحويلة (By Pass) مع الغاء كافة التوصيلات على الانبوب .**
- **يتم تحضير احواض التفتيش لتسهيل عملية مد الانبوب وفي بعض الحالات يتم حفر مسافة قرب حوض التفتيش لتكون منطقة دخول الانبوب الجديد مع حفرة اخرى من الجهة الثانية لوضع ماكنة السحب .**
- **يتم سحب المخروط بواسطة حبل السحب او سلسلة القضبان حيث يتم ادخاله من منطقة الدخول الى داخل الانبوب وسحبه حيث يتكسر الانبوب القديم بواسطة المخروط لغرض السماح للانبوب الجديد باستغلال مكان الانبوب القديم ويمكن استخدام هذه الطريقة لانابيب بين (٤-٤٨) أنج وطول (٤٠٠ قدم) .**



الشكل (١٦) عملية سحب المخروط وتكسير الانبوب المضيف وسحب الانبوب الجديد الموضح باللون الاسود

هناك ثلاثة اساليب لتكسير الانبوب القديم ضمن هذه الطريقة ونلخصها فيما يلي :

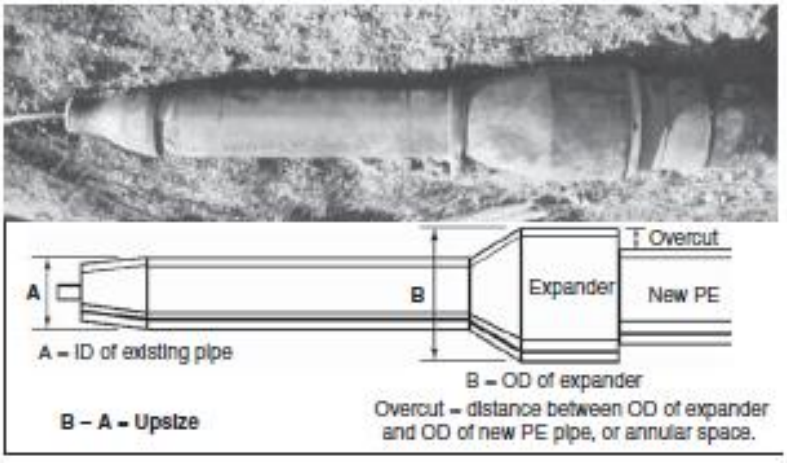
أ- اسلوب الهواء المضغوط :

تتلخص هذه الطريقة باستخدام مطرقة مخروطية الشكل تعمل بالهواء المضغوط وتتراوح ضرباتها بين (١٨٠-٥٨٠ ضربة بالدقيقة) وتكون هذه العملية اشبه بدق المسمار وفي نفس الوقت يتم سحب المطرقة بواسطة حبل معدني من جهة حوض الخروج والشكل (١٧) يوضح صورة ومخطط لمخروط الهواء المضغوط , ان في كل ضربة يتم تكسير جزء من الانبوب ودفع الاجزاء المتكسرة الى التربة المحيطة بالانبوب من خلال الموسع في المخروط لفسح المجال لسحب الانبوب الجديد , ويكون الموسع في النهاية الامامية للمطرقة المخروطية للانابيب ذات قطر اقل من (١٢ أنج) ويكون الموسع في النهاية الخلفية للمطرقة المخروطية للانابيب ذات قطر (١٢ أنج) او اكثر .

تكمن اهمية عملية السحب في الامور التالية :

- **يستفاد من قوة السحب لضمان ان يكون مسار المطرقة المخروطية مطابق لمسار الانبوب القديم قدر الامكان .**
- **الضغط على جدار الانبوب القديم لتسهيل عملية التكسير .**
- **سحب الانبوب الجديد .**

وتعتبر هذه الطريقة الاكثر استخداما .



الشكل (١٧) : مخروط الهواء المضغوط

ب- اسلوب المخروط الهيدروليكي :

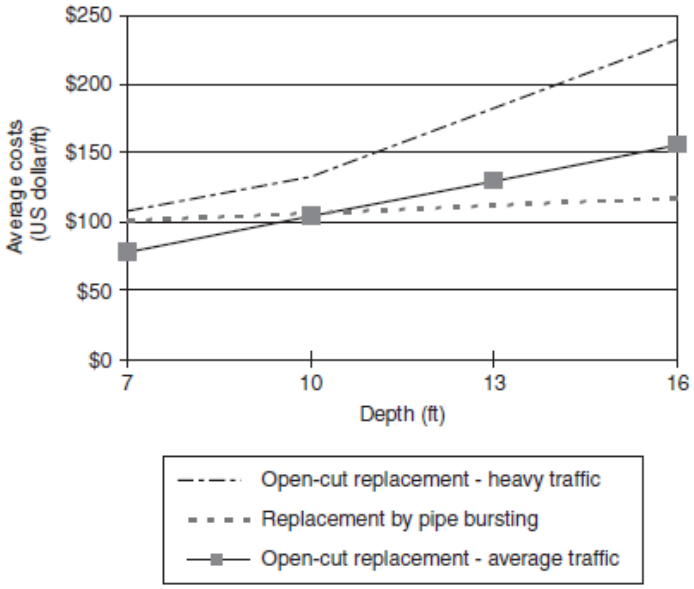
تتم هذه الطريقة على مرحلتين حيث بعد ادخال المخروط في الانبوب القديم يتمدد المخروط جانبيا بواسطة الضغط الهيدروليكي على محيط المخروط الذي ترتفع منه قطع تقوم بتكسير جزء من الانبوب يعادل طول المخروط ثم يتقلص المخروط ويتم سحبه بواسطة حبل معدني الى الامام ويسحب معه الانبوب الجديد وتعاد العملية مرات عدة لحين الوصول الى حوض الخروج , يتم ربط الخراطيم الخاصة بتجهيز الضغط الهيدروليكي في المخروط من الجهة الخلفية وهذه الطريقة قليلة الاستخدام .

ت- اسلوب المخروط الستاتيكي :

وهي من الطرق الشائعة الاستخدام حيث يتم سحب المخروط بقوة عالية بواسطة حبل معدني او سلسلة قضبان يتم ادخالها في الانبوب القديم ومن خلال عملية سحب المخروط يتكسر الانبوب القديم مما يفسح المجال لادخال الانبوب الجديد الذي يكون مربوطا بمؤخرة المخروط , الشكل (١٨) ماكنة سحب القضبان , تتم عملية السحب بواسطة ماكنة هيدروليكية تكون موجودة في حوض الخروج او يعمل لها بئر (Pit) ومن الجدير بالذكر ان قوة سحب الحبل المعدني محدودة قياسا بقوة سحب سلسلة القضبان ولكن السحب باستخدام الحبل المعدني يكون اسرع بسبب قلة التوقفات اثناء العمل , في حالة الانابيب المعدنية فيتم تركيب شفرات حادة على المخروط لغرض شق هذه الانابيب لتسهيل عملية ادخال الانبوب الجديد بعد عمل مجال له بواسطة المخروط .

الشكل (١٨) ماكنة سحب القضبان .

وقد تم اعداد دراسة للمقارنة بين طريقة تكسير الانابيب وطريقة الحفر المفتوح لتأهيل الانابيب من ناحية الكلفة وتبين ان طريقة تكسير الانابيب تكون اقل كلفة في حالة الاعماق العالية وكما مبين في المخطط رقم (١) .



مخطط رقم (١) : مقارنة بين طريقتي تكسير الانبوب والحفر المفتوح من ناحية الكلفة

٢. ازالة الانابيب : (Pipe Replacement)

يتم في هذه الطريقة ازالة الانبوب القديم ومد الانبوب الجديد بنفس المسار وتسمى هذه الطريقة ايضا بتآكل الانبوب حيث يتم تنفيذ هكذا عمل باستخدام طريقة (Microtunneling) او طريقة (HDD) او بواسطة البريمة والتي تم شرحها سابقا .

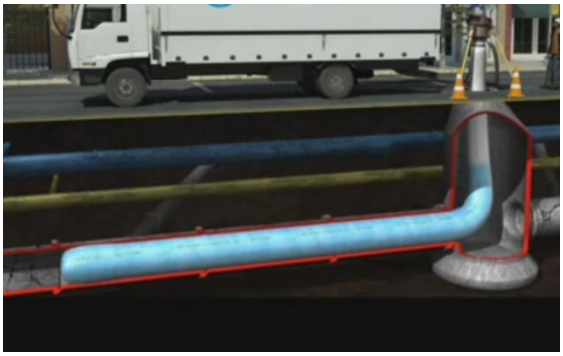
ثالثا : تأهيل الانابيب بواسطة التبطين : (Lining)

تتميز هذه الطرق بكونها لا تحتاج الى اعمال حفر في اغلب الحالات وهي تقلل من خشونة باطن الانبوب ولكنها تقلل من قطر الانبوب وهذه الطرق هي :

١. معالجة الانبوب في موقعه : (Cured In Place Pipe) (CIPP)

ان هذه الطريقة تستخدم بشكل واسع لتأهيل الانابيب ولعمر تصميمي قد يصل الى (٥٠ سنة) وقد بدأ استخدام هذه الطريقة في بريطانيا عام ١٩٧١ ودخلت الى امريكا عام ١٩٧٦ .
تتم هذه الطريقة بواسطة ادخال انبوب مصنوع من نسيج القماش المشبع بمادة راتنجية (Resin) في الانبوب القديم ومن ثم تتم المعالجة لغرض حصول حالة التصلب لنسيج القماش حيث يتكون انبوب داخل الانبوب القديم ويعتمد استخدام هذه الطريقة على نوع الانبوب وطبيعة الضرر الحاصل ونوع السائل المار بالانبوب , الشكل (١٩) فقرات تنفيذ العمل .

(أ)



(ب)

الشكل (١٩) : (أ) اشباع النسيج بمادة راتنجية , (ب) ادخال النسيج في الانبوب بعمل انقلاب له

طريقة العمل :

في البداية يتم تنظيف الانبوب المراد تبطينه بعد قطع جريان المياه ثم يتم ادخال انبوب مكون من نسيج قماشي مصنوع من مادة (Fiberglass) او (Carbon Fiber) بعد اشباعها بمادة راتنجية (Polyster او Vinylester او Epoxy) حيث توجد طريقتين لادخال الانبوب النسيجي :

- **الطريقة الاولى : تتمثل هذه الطريقة بعمل انقلاب للنسيج وادخاله بواسطة ضغط الماء .**
- **الطريقة الثانية : تتمثل بسحب النسيج وادخاله بواسطة حبل وماكنة سحب توضع في حوض الخروج .**

بعد ان تتم عملية الادخال ونفخ الانبوب النسيجي تتم عملية التصلب بواسطة الماء الحار او البخار او الاشعة فوق البنفسجية وبذلك يتكون انبوب جديد داخل الانبوب القديم ومن مزايا هذه الطريقة كونها ملائمة لكافة مقاطع الانابيب الدائرية والبيضوية والاشكال الاخرى وكذلك في حالة وجود انحناءات في مسار الانبوب .

في حالة استخدام الطريقة الاولى يجب ان لا تزيد سرعة مد الانبوب النسيجي عن (٣٠ قدم/ دقيقة) للاقطار الصغيرة اما الاقطار الكبيرة فيجب ان تكون السرعة اقل وحسب توجيهات الشركة المصنعة .

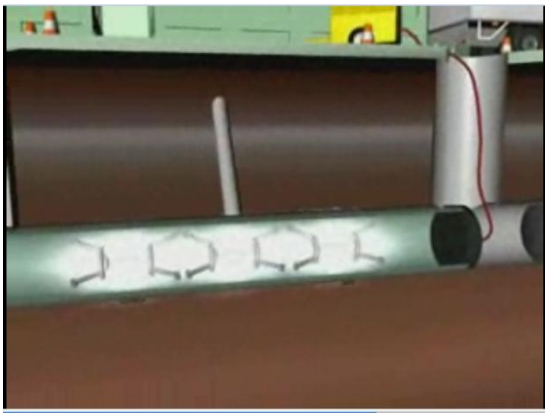
ان استخدام المادة الراتنجية بالاضافة الى دورها في عملية التصلب فانها تعتبر مادة مقاومة للتأثيرات السلبية المرافقة لمياه المجاري , في بعض الحالات يكون من الضروري استخدام تبطين تمهيدي لغرض الحفاظ على التبطين الاساسي من احتمال حدوث خدوش نتيجة الاحتكاك اثناء مد التبطين الاساسي وكذلك يمنع انجراف وتلوث المادة الراتنجية , وتكون الحاجة الى التبطين التمهيدي ضرورية في حالة وجود نضوحات في الانبوب القديم او كون مستوى الانبوب اوطأ من مستوى المياه الجوفية او ان التربة ملوثة او عندما يكون الانبوب القديم مبطن بمواد لا تتناسب مع التبطين الاساسي , يمكن الاستغناء عن التبطين التمهيدي في حالة حقن المناطق المتضررة في الانبوب لتقليل النضوحات استخدام مواد رقيقة على طول قعر الانبوب (Invert) لتقليل الاضرار الناتجة عن الاحتكاك .

سبق وان بينا ان عملية المعالجة (تصلب المادة الراتنجية) تتم بثلاثة طرق , الاولى باستخدام الماء الحار وهذا يتطلب مراقبة درجة الحرارة في نقاط الدخول وفي نهاية كل عملية تنفيذ , والثانية باستخدام الهواء الحار او البخار حيث يتم نفخ نسيج القماش ومن ثم تتم المعالجة , ويستخدم في الطريقة الثالثة الاشعة فوق البنفسجية (Ultra Violet) (UV) والموضحة في الشكل (٢٠- أ) حيث بعد مد نسيج القماش المشبع بالمادة الراتنجية يتم ادخال كامرة (CCTV) مع منظومة الاشعة فوق البنفسجية من احدى الجهات وتسحب الى الجهة الاخرى

ثم تعاد الى الجهة الاولى , وعند اكتمال عملية المعالجة يتم فحص الانبوب بواسطة كامرة (CCTV) للتأكد من اتمام العمل بالشكل الصحيح .
تحدد المواصفة الامريكية المرقمة (ASTM F1216-09) كافة الحسابات التصميمية الخاصة بهذه الطريقة والخاصة بقياس قوة تحمل نسيج القماش للحالات التالية :

- **الانبعاج نتيجة الاحمال فوق الانبوب**
- **الانحراف**
- **الانبعاج الناتج عن ضغط الماء الخارجي**

ان من سلبيات هذه الطريقة هو احتمال حدوث انفصال نسيج القماش عن جدار الانبوب وكما موضح في الشكل (٢٠- ب) .
هناك طريقة اخرى مشابهة لهذه الطريقة ولكن يتم فيها استخدام انبوب (GRP) بدلا من نسيج القماش المشبع بالراتنج حيث يتم مد انبوب لين مصنوع من مادة (GRP) مغلف بطبقة نايلون لمنع تصلبه اثناء فترة التخزين وبعد تثبيته داخل الانبوب المراد تبطينه يتم معالجته بالاشعة فوق البنفسجية لغرض تصلبه ومن مساوئ هذا النوع انه يجب استخدامه خلال فترة لا تتجاوز (٦ أشهر) من تاريخ التصنيع .



(أ) (ب)

الشكل (٢٠) : (أ) المعالجة بالشعة فوق البنفسجية , (ب) حصول فشل بانفصال النسيج عن الانبوب

٢. Close Fit Pipe

وتسمى هذه الطريقة ايضا (Omega Liner) او (Subline) ان هذه الطريقة تتمثل بمد انبوب مصنوع من مادة البولي اثيلين او من مادة (PVC) داخل الانبوب القديم حيث ان شكل الانبوب منبعج الى الداخل ويكون على شكل رول في الاقطار الصغيرة والشكل (٢١- ب) يوضح مراحل تشكيل الانبوب ,اما في الاقطار الكبيرة لمادة البولي اثيلين فبعد لحام الانابيب تقوم ماكنة خاصة بعملية بعج الانبوب وربطه بواسطة شرائط خاصة لضمان عدم رجوعه الى شكله اثناء عملية الادخال والتي تنقطع عند تحميل الضغط للانبوب .
بعد اكتمال دخول الانبوب يستخدم الماء الحار او البخار مع الضغط ان يأخذ الانبوب الجديد شكل الانبوب القديم وفي حالة وجود فراغ بين الانبوبين القديم والجديد فيتم ملئه بمواد سمنتية , تستخدم هذه الطريقة لاصلاح الانابيب المتضررة ولكن لا يوجد فيها انحراف في مناطق المفاصل (Joints) ومن ثم يتم عمل فتحات توصيلات الدور بواسطة الروبوت في حالة وجود توصيلات مربوطة على الانبوب القديم .

(أ) (ب)

الشكل (٢١) : (أ) ادخال الانبوب الجديد داخل القديم , (ب) مراحل تشكل الانبوب تحت تأثير الضغط والحرارة

٣. (SPR) (Spiral wound Pipline Rehabilitation)

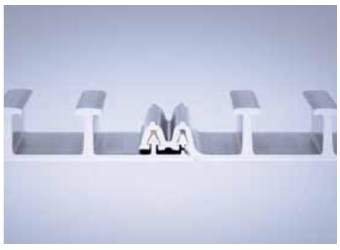
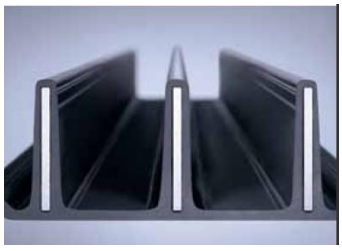
تسمى هذه الطريقة ايضا (Riblock) وتتمثل باستخدام شريط مصنوع من مادة البولي اثيلين او (PVC) وباستخدام ماكنة خاصة يتم تكوين انبوب من الشريط بشكل حلزوني من خلال ربط اللفات مع بعضها حيث تقوم الماكنة بربط كل لفة مع اللفة السابقة لها من خلال تركيب موجود على ظهر الشريط مع وجود شريط مطاطي مستمر مع الشريط البلاستيكي لغرض منع تسرب المياه خلال مناطق اتصال اللفات مع بعضها الى داخل التبطين , بعد اكتمال عملية تكوين الانبوب المتكون من اللفات الحلزونية للشريط وتقليل الفراغ بين الانبوب القديم والتبطين يتم حقن هذا الفراغ بمواد سمنتية لا تتأثر بالماء وهناك نوعين من الماكنة الخاصة بتنفيذ هذه الطريقة , الاولى تكون ثابتة في مكانها مع مد وتشكيل الانبوب اشبه بشد البراغي وتستخدم في تأهيل الانابيب الدائرية الصغيرة والمتوسطة والثانية تكون متحركة حيث تتحرك مع عملية تشكيل الانبوب المتكون من الشريط وتستخدم في الانابيب ذات الاقطار الدائرية الكبيرة او ذات الاشكال غير الدائرية والشكل (٢٢- أ,ب,ج,د) يوضح تنفيذ العمل ضمن مقاطع مختلفة , يتم اسناد الشريط في الانابيب الكبيرة وغير الدائرية قبل المباشرة بعملية الحقن .

(أ) (ب)

(ج) (د)

الشكل (٢٢) : (أ) و (ب) و (ج) تنفيذ العمل ضمن مقاطع مختلفة , (د) توضيح لطريقة تنفيذ العمل

يصنع الشريط المستخدم في هذه الطريقة من مادة (PVC) والذي يكون ذو اضلاع على ظهره ويتم تسليح الشريط في بعض الحالات من الخارج باضلاع معدنية لزيادة تحمله لاي احمال خارجية او يصنع من مادة (HDPE) التي تزود باضلاع تكون مسلحة من الداخل وكما في الشكل (٢٣) .
يمكن استخدام هذه الطريقة مع وجود جريان في الانبوب بارتفاع لا يزيد عن (٢٥-٣٠ %) من قطر الانبوب على ان لا يزيد عن (٦٠ سم) واعتمادا على سرعة الجريان واعتبارات السلامة , ويمكن تنفيذ هذه الطريقة لاقطار (٤٠٠ ملم) او اكثر .
وتتميز هذه الطريقة بسهولة تنفيذها مع عدم الحاجة الى القيام باي اعمال حفريات .

(أ) (ب) (ج)

الشكل (٢٣) : (أ) و (ب) شريط من مادة (PVC) , (ج) شريط من مادة البولي اثيلين

٤. (CCCP) (Centrifuglly Cast Concrete Pipe)

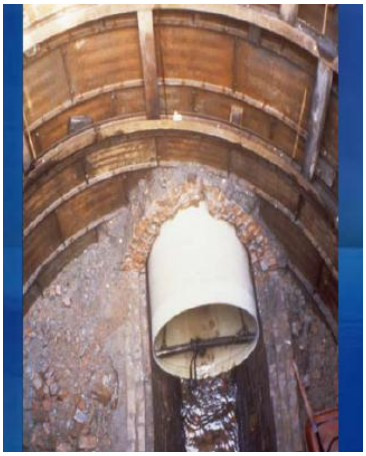
تم استخدام هذه الطريقة لاول مرة في عام ١٩٨٥ لغرض تبطين احواض التفتيش ومن ثم استخدمت لتبطين الانابيب من قطر (٣٠ أنج) الى (١٢٠ أنج) تتلخص هذه الطريقة بتبطين الانبوب بمونة السمنت والتي تستخدم فيها مونة عالية المقاومة حيث يتم ادخال ماكنة دوارة داخل الانبوب تقوم بنثر مونة السمنت باسلوب الطرد المركزي وكما في الشكل (٢٤) .
قبل المباشرة بالعمل يجب تنظيف الانبوب بشكل جيد للتخلص من الاوساخ والتكلسات بواسطة الماء المضغوط او الرمل و يتطلب كذلك طلاء الانابيب المعدنية بالايبوكسي لحمايتها من الصدأ ويجب ايضا معالجة كافة المناطق المتضررة او التشققات او اي مناطق يمكن ان يتسرب من خلالها المياه .
ان مونة السمنت المستخدمة تتكون من مواد ذات قوة عالية وذات مقاومة عالية للتآكل والحت حيث انها تحتوي على مضافات ومواد مقاومة للصدأ .
ان مونة السمنت تحتاج الى ٢٤ ساعة لتتماسك وتصبح قوية , ان سمك مونة السمنت التي يتم التبطين بها تحدد من قبل المهندس المشرف وحسب الحالة على ان لا تقل عن (٠,٥ أنج) وفي حالة ارتفاع درجة الحرارة اكثر من (٣٥) درجة مئوية فانه يتطلب تظليل المكان في حالة كونه معرض للشمس مع خفض درجة حرارة الخلطة باستخدام الماء البارد للخلط , ويجب ان لا يتم تنفيذ العمل في حالة انخفاض درجة الحرارة عن (٧) درجة مئوية او ان يتم تدفئة الماء والمواد قبل الخلط .

(أ)　　(ب)

الشكل (٢٤) : (أ) ماكنة نثر الخلطة الاسمنتية , (ب) وضعية الانبوب قبل وبعد التبطين

٥. التبطين بواسطة انابيب (GRP)

تتمثل هذه الطريقة بحفر جزء من الانبوب القديم بمقدار يمكن من خلاله ادخال انبوب وبعد اجراء عملية التنظيف للانبوب القديم يتم اجراء فحص المغزل (Mandrel) وذلك للتأكد من عدم وجود عوائق تعيق عملية دفع الانبوب الجديد ومن ثم يدفع انبوب (GRP) داخل الانبوب المطلوب تبطينه وهكذا يتم دفع الانابيب الاخرى الواحد تلو الاخر لحين اكمال المسافة المراد تبطينها وبعدها يتم حقن خلطة سمنتية بين الانبوب القديم والجديد لغرض ملئ الفراغ بينهما , ومن ميزات هذه الطريقة انه يمكن العمل بها مع وجود جريان داخل الانبوب والشكل (٢٥) يوضح تنفيذ العمل بهذه الطريقة .



الشكل (٢٥) تبطين باستخدام انابيب (GRP)

المفاصل : (Joints)

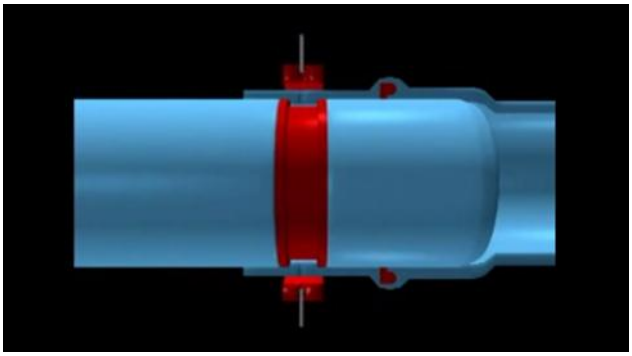
ان اغلب طرق الحفر المخفي التي ذكرناها يتم فيها استخدام انابيب تربط مع بعضها البعض بواسطة مفاصل باشكال متعددة ونذكر تفصيل لبعض انواع هذه المفاصل :

١. **اللحام بالصهر (Butt Fusion)**

سبق وان تم بيان هذه الطريقة والتي تستخدم في لحام انابيب (PVC) و (HDPE)

٢. **مفاصل (Terra Brute) :**

تستخدم هذه المفاصل في تركيب انابيب (PVC) ويكون شكلها مشابه للمفاصل الاعتيادية ولكن الفلنجة تحتوي على ثقوب مع حلقة حولها وهي مثقبة ايضا ويوجد في رأس الانبوب الذي يدخل داخل الفلنجة حز مقابل الثقوب حيث يتم ادخال مسامير خاصة في الثقوب ترتكز على الحز لقفل المفصل الشكل (٢٦).



الشكل (٢٦) : مفصل (Terra Brute)

٣. **مفاصل (Certa Lok)**

تستخدم هذه المفاصل في تركيب انابيب (PVC) ويكون شكلها مشابه تقريبا للمفاصل الاعتيادية ولكن الفلنجة تحتوي على حز داخلي يقابله حز على ظهر الانبوب الذي يدخل في الفلنجة وهناك ثقب واحد في الفلنجة مقابل الحز وبعد ادخال الانبوب في الفلنجة على ان يكون حز الفلنجة مقابل حز الانبوب يتم ادخال قضيب بلاستيكي رفيع من خلال الثقب الوجود في الفلنجة ليكون نصف سمك القضيب في حز الفلنجة والنصف الاخر في حز الانبوب , الشكل (٢٧).

الشكل (٢٧) : مفصل (Certa Lok)

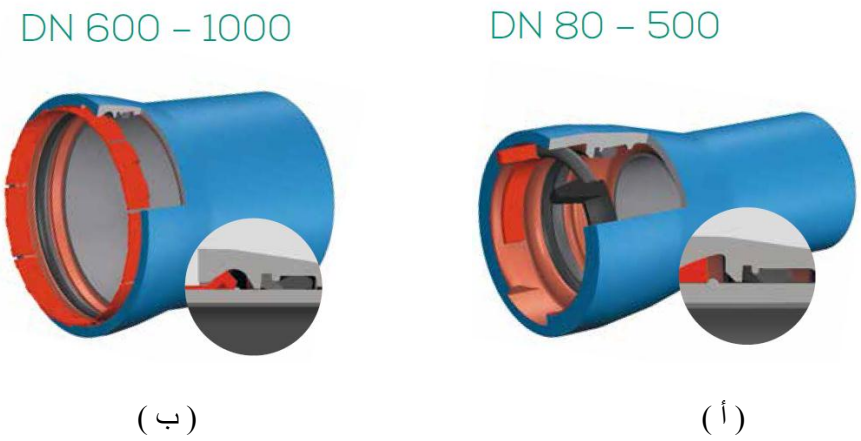
٤. مفاصل (Bulldog)

تستخدم هذه المفاصل في تركيب انابيب (PVC) ويكون شكلها مشابه تقريبا للمفاصل الاعتيادية ولكن الفلنجة تحتوي على تجويف يوضع فيه طوق معدني ذو اسنان وعند ادخال الانبوب تتعشق هذه الاسنان مع الانبوب وتمنع خروجه , الشكل (٢٨).

الشكل (٢٨) : مفصل (Bulldog)

٥. مفاصل انابيب الدكتايل :

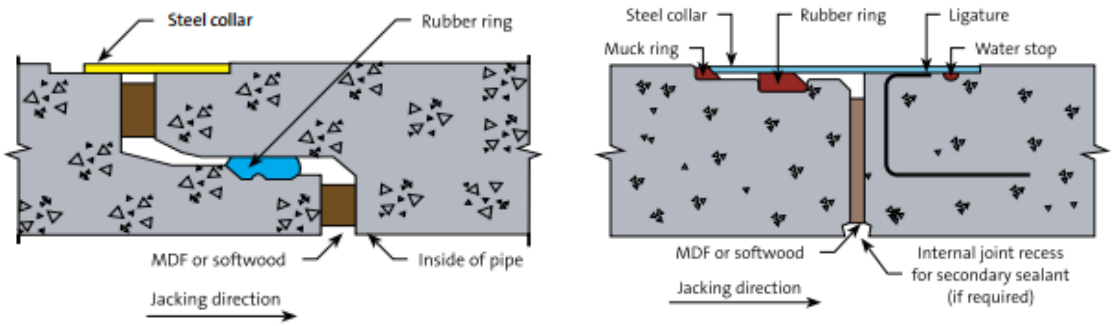
وتكون هذه المفاصل مشابهة للمفاصل الاعتيادية لانابيب الدكتايل ولكن يتم اضافة حافة في مقدمة الفلنجة تغطي ما يقارب ثلاثة ارباع محيط الفلنجة من الداخل وكذلك يوجد طوق مثبت على ظهر الانبوب الذي يدخل داخل الفلنجة حيث بعد ادخال الانبوب داخل الفلنجة يتم ادخال قطع معدنية واخرى مطاطية (للحصر) على شكل هلال تمنع خروج الانبوب من الفلنجة وكما في الشكل (٢٩- أ) ويستخدم هذا النوع للاقطار (٨٠ - ٥٠٠ ملم) وهناك نوع اخر يستخدم للاقطار (٥٠٠ – ١٠٠٠ ملم) ولكن الحافة تغطي مقدمة الفلنجة بالكامل حيث يتم وضع القطع المعدنية ثم يتم ادخال الانبوب , الشكل (٢٩- ب).



الشكل (٢٩) : بعض انواع مفاصل انابيب الدكتايل

٦. مفاصل انابيب الكونكريت :

وتتكون هذه المفاصل من طوق معدني مثبت على نهاية الانبوب الامامي وعند دخول الانبوب الذي يليه تدخل مقدمته داخل هذا الطوق ويوضع احيانا جزء مطاطي على الانبوب الخلفي مقابل الطوق المعدني او بين الانبوبين لمنع دخول الماء ويمكن وضع مادة اضافية لمنع تسرب الماء في منطقة التقاء الانبوبين من الداخل مثل البولي سلفايد او البولي يوريثان او اي مادة اخرى تفي بهذا الغرض وتوضع ايضا مادة قابلة للانضغاط وذلك لتوزيع ضغط الدفع على وجه الانبوب والشكل (٣٠) يوضح نوعين من مفاصل الكونكريت .



الشكل (٢٩) : بعض انواع مفاصل انابيب الكونكريت