

المبادلات الحرارية

Heat Exchangers

إعداد وتقديم / المهندس سمير خالد
مدير الجودة والسلامة المهنية والبيئة

ما هي فكرة التبادل الحراري خلال المبادلات الحرارية؟

تنتقل الحرارة عادة من المواد الحارة إلى المواد الباردة ويؤدي ذلك إلى انخفاض درجة حرارة المواد الحارة وارتفاع درجة حرارة المواد الباردة ويكون مقدار الحرارة المفقودة مساوياً للحرارة المكتسبة مضافاً إليه الحرارة المتسربة إلى الجو. وكالاتي:

$$\text{الحرارة المفقودة} = \text{الحرارة المكتسبة} + \text{الحرارة المتسربة إلى الجو}$$

ويتم انتقال الحرارة في المبادل الحراري بصورة رئيسية بطريقتي التوصيل Conduction والحمل Radiation حيث أن حرارة المادة تنتقل إلى جدران حزمة الأنابيب بواسطة الحمل وخلال جدران حزمة الأنابيب إلى الجهة الثانية بواسطة التوصيل وعن طريق جزيئات المعدن ومن ثم من الجدار الخارجي لحزمة الأنابيب إلى المادة التي تجري خلال القشرة الخارجية للمبادل الحراري بواسطة الحمل مرة ثانية.

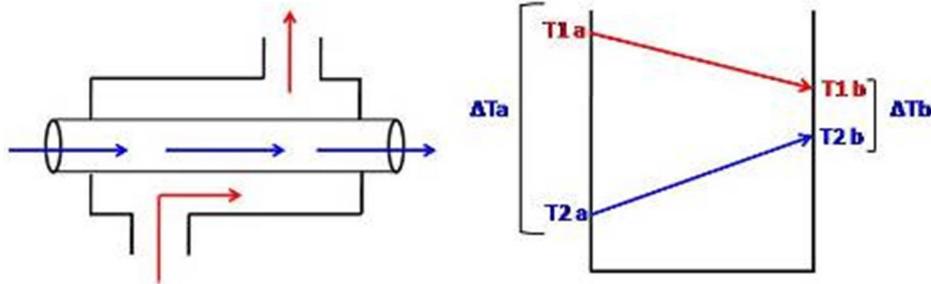
ما هو الغرض من المبادلات الحرارية؟

أن الغرض الأساسي من استعمال المبادلات الحرارية هو الاقتصاد في النفقات ، حيث أن تكاليف تسخين النفط الخام على سبيل المثال يحتاج إلى الكثير من الوقود والطاقة ، في حين تجد في نفس الوحدة منتجات نفطية بحاجة إلى تبريد قبل إرساله إلى الخزانات لذا يمكن أداء الوظيفتين في مبادل حراري واحد أو مجموعة من المبادلات الحرارية. أن بخار الماء يعتبر من أوساط التسخين الشائعة في الصناعة النفطية ، وخاصة الغلايات Reboilers حيث أنه يعطي حرارته إلى المنتج النفطي ويتحول بدوره إلى ماء. أن البخار المتكاثف من عمليات التسخين هذه يتم إعادته إلى (منظومة مغلقة) ليُعاد استعماله كماء مغذي للمرجل لإنتاج البخار. علماً أن البخار ليس مسخناً رئيساً في تكرير النفط الخام إذ أن النفط الخام يُسخن بشكل أساسي في الأفران.

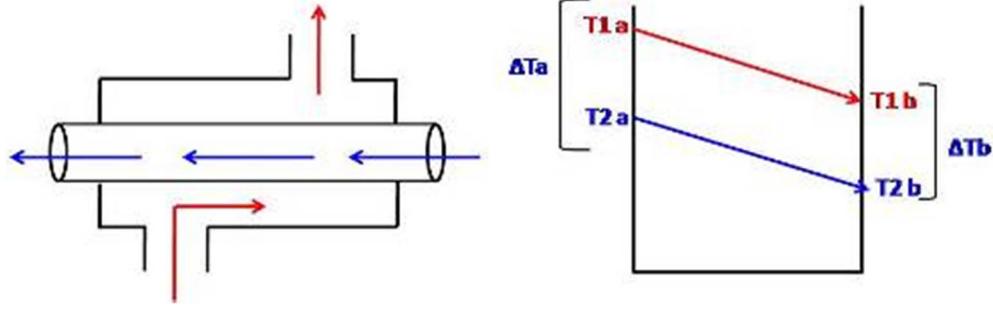
حالات جريان الموائع في المبادلات الحرارية :

هناك حالتان لاتجاه جريان المائع في المبادلات الحرارية وهي:

١. الجريان الموازي Parallel Flow يكون اتجاه جريان الموائع في هذه الحالة متشابهاً ، أي أن المائعين يسيران بنفس الاتجاه. كما في الشكل:



٢. الجريان المعاكس Counter-Current Flow يكون اتجاه جريان المائعين متعاكساً أي أن المادتين تسيران باتجاهين متعاكسين وكما في الشكل:



أن المحور الأفقي X-Axis في الشكلين أعلاه يمثلان طول المبادل ويلاحظ في الجريان المتعاكس ثبوت فرق درجات الحرارة تقريباً على طول المبادل الحراري بينما في الجريان المتوازي يلاحظ أن الفرق كبير جداً في دخول المبادل ويقل على امتداد طوله. وأثبتت التطبيقات العملية أن الجريان المتعاكس كفاءته أكثر من الجريان المتوازي.

أنواع المبادلات الحرارية (تبعاً لطبيعتها عملها):

يستعمل المبادل الحراري عادة للأغراض التالية:

- تسخين سائل أو غاز.
- تبريد سائل أو غاز.
- تكثيف بخار.
- تبخير سائل.

تسمى المبادلات الحرارية حسب عملها ووظيفتها كما يلي:

- ١- المسخنات Heaters : وهي المبادلات التي تستعمل سائلاً ساخناً لتسخين مائع.
- ٢- المبردات Coolers : وهي المبادلات الحرارية التي لتبريد الموائع بواسطة سائل آخر ويستعمل الماء عادة لهذا الغرض ويسمى ماء التبريد Cooling Water وفي حال استعمال الهواء تسمى المبردات الهوائية Air Coolers
- ٣- المكثفات Condensers : وهي المبادلات الحرارية التي تستخدم لتكثيف البخار أو مزيج أبخرة أو بوجود غازات قابلة للتكثيف (كوجود الهواء مع بخار الماء) وعملها الرئيس هو إزالة أو امتصاص الحرارة الكامنة للتبخير Latent Heat ويستعمل الماء لهذا الغرض عادة .
- ٤- المبخرات Evaporators : تستخدم لتبخير سائل مذيّب من محلول معين وتستخدم عادة لتركيز المحاليل بواسطة تبخير الماء (من هذه المحاليل المائية).
- ٥- الغلايات Reboilers : وهي المبادلات الحرارية التي تستعمل عادة لتسخين قعور أبراج التقطير لفصل المشتقات عن بعضها أو لأبراج التجزئة (لفصل بعض الغازات عن السوائل) ويستعمل بخار الماء بشكل واسع في الصناعة النفطية.

كما يمكن تصنيف المبادلات الحرارية تبعاً لعدد الأقطار وكالاتي:

- ١- مبادلات أحادية الطور : وهي المبادلات الحرارية التي يتم فيها التبادل الحراري بين مائعين (بنفس الطور) ولا يحدث تغير في حالة (طور) أحد هذين المائعين.

٢- مبادلات متعددة الأطوار: وهي المبادلات الحرارية التي يتم فيها التبادل الحراري مع حدوث تغيير في حالة (طور) أحد هذين المائعين فمثلاً يتبخر أحدهما أو يتكاثف أثناء التبادل الحراري.

كما يمكن تصنيف المبادلات الحرارية تبعاً لتصميمها وكالاتي:

- ١- المبادلات ذات الرأس ذكون هناك فرق كبير في درجات حرارتها ولك لكون طرفي الحزمة ثابتين ولا توجد حماية أو احتياطات للتمدد الحراري الكبير وكذلك يستعمل للضغوط المنخفضة للموائع. ويستعمل للموائع بحيث لا تتجاوز أقصى حرارة لها ١٥٠ °م
- ٢- المبادلات ذات الرأس السائب Floating Head Exchangers: في هذا النوع من المبادلات تثبت إحدى صفيحتي الأنابيب من طرف وتترك سائبة من الطرف الآخر وذلك لكي تسمح بتمدد حزمة الأنابيب نتيجة التمدد الحراري وخاصة إذا كانت الفروق الحرارية كبيرة بين المائعين ويستعمل هذا النوع على نطاق واسع جدا في الصناعة النفطية ويكون سهل التنظيف عند إجراء أعمال الصيانة.
- ٣- المبادل الحراري ذو شكل حرف يو U-Type Exchangers: في هذا النوع من المبادلات تكون حزمة الأنابيب على شكل حرف U ومثبتة على صحيفة واحدة للأنابيب وفي هذا النوع تتمدد الأنابيب بحرية تامة. كذلك يكون عدد نقاط الاتصال أو الربط للأنابيب مع صحيفة الأنابيب أقل منه في المبادلات الأخرى (لوجود صحيفة أنابيب واحدة) ويستعمل عادة في الغلايات وخاصة التي تسخن البخار ويستعمل لدرجات الحرارة والضغوط العالية إلا أنه صعب التنظيف بالوسائل العادية مقارنة بالأنواع الأخرى. وتستعمل لتنظيفه وسائل ميكانيكية حديثة كاستعمال الماء ذو الضغط العالي أو فرش دقيقة وخرطوم مرنة. وهذا النوع شائع الاستعمال في الصناعة النفطية.
- ٤- المبادل الحراري ذو الأنابيب المزدوج Double Pipe heat Exchanger : وهو المبادل الحراري الذي هو عبارة عن أنبوب خارجي وأنبوب داخلي آخر أقصر وتمر المادة خلال الأنبوب الخارجي والمادة الأخرى المراد تبريدها أو تسخينها خلال الأنبوب الداخلي.

الملاحظات الواجب أتباعها أثناء تشغيل المبادلات الحرارية :

١. عند تبريد المنتجات النفطية ذات الحرارة المرتفعة جداً يجب أن يكون مرورها خلال أنابيب المبادلة الحرارية يجب أن تكون سرعتها بطيئة جداً في البداية ومن ثم تزداد سرعتها تدريجياً ، لأن السرعة العالية في البداية قد تؤدي الى تدمير حزمة الأنابيب والمبادلة ككل.
٢. الترسبات: أن المياه المستعملة في التبريد تحتوي على كمية لا بأس بها من الشوائب والأملاح التي تترسب على جدران الأنابيب الداخلية لحزمة الأنابيب وهيكل المبادل Shell إذا كان يمر خلاله وذلك لارتفاع درجة الحرارة للماء لاكتسابه كمية من الحرارة من المادة المراد تبريدها ، لذا يتوجب تنظيف المبادلة لأزالة الترسبات وبالتالي زيادة كفاءة التبادل الحراري.
٣. مراعاة أن تدخل السوائل الحارة التي يراد تبريدها من الجهة العليا للموائع وذلك بسبب زيادة الكثافة بانخفاض الحرارة مما يولد ميلاً نحو الجريان للأسفل وسوف يساعد ذلك عمل المبادل وعدم وجود مقاومة أكبر للجريان (أو لفقدان الضغط). وعليه يلاحظ في جميع المبردات الهوائية دخول المائع (الحار) من الأعلى وخروجه من الأسفل.

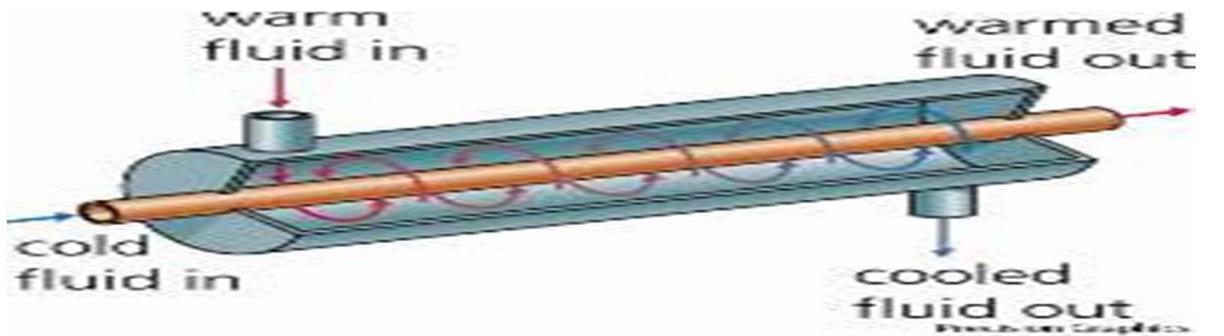
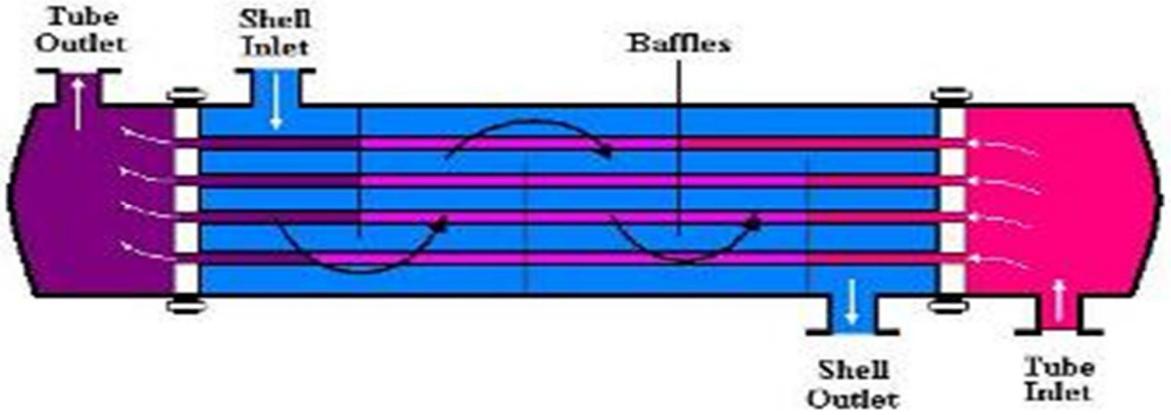
عند الحديث عن المبادلات الحرارية من نوع shell & Tube فإن هناك سؤال دائماً ما يتبادر الى الذهن : أي من السائلين يتم وضعه في shell ، وأي منهما يتم وضعه في الأنابيب tubes. الجواب هو التالي:

يجب وضع سائل ما في الأنابيب Tubes ، في الحالات التالية:

- 1- عند الحاجة إلى أنابيب مصنوعة من نوع خاص من السبائك المعدنية تقاوم التآكل ودرجات الحرارة العالية. حيث أن هذه المواد تكون مطلوبة في الأنابيب فقط ، فإذا كان السائل الذي يمر في shell يسبب التآكل فأنكلاً من shell - tube يجب أن يكون محمياً بسبيكة خاصة.
- 2- السائل في ضغوط عالية . حيث إذا السائل بضغط عال يجب وضعه في الأنابيب لأن ذلك أقل كلفة حيث أنها تكون ذات قطر أقل من الـ shell (والتي ستحتوي السائل الأقل ضغطاً).
- 3- احتواء السائل على البخار والغازات غير المتكثفة. حيث أن هذا السائل سيحدث تبادلاً حرارياً أكبر إذا كان في الأنابيب.
- 4- أن يكون السائل مسبباً للصدأ لذا يجب أن يكون في الأنابيب ، حيث يمكن معالجته.

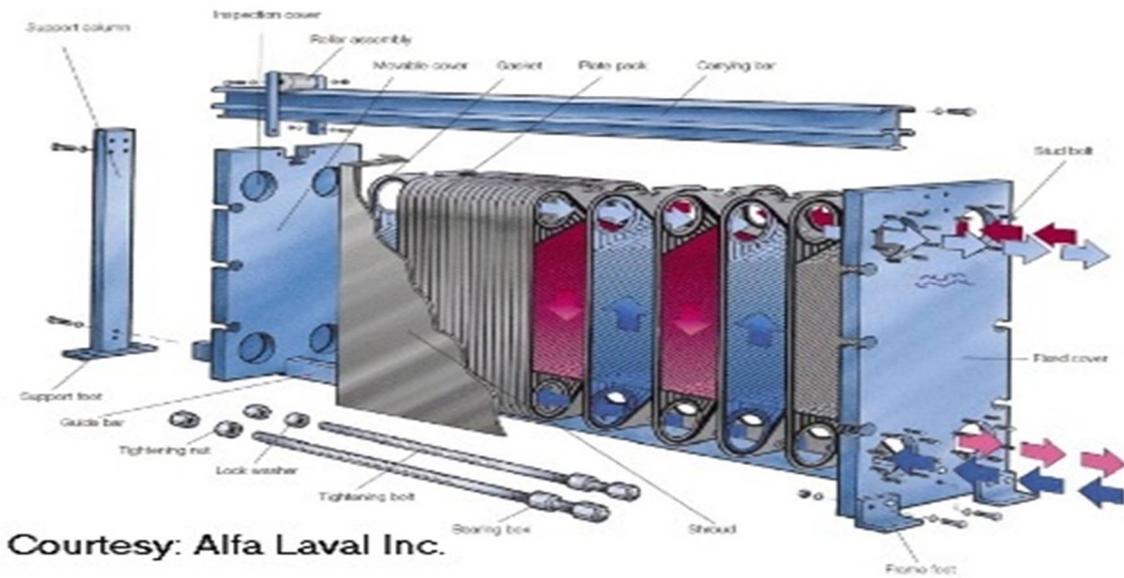
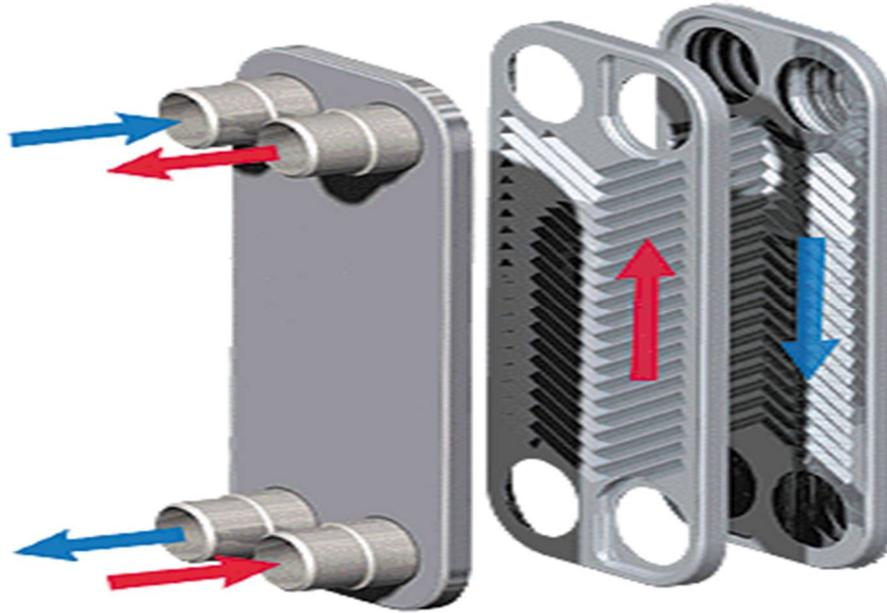
يجب وضع السائل في الـ shell في الحالات التالية:

- 1- إذا كان المطلوب فرق ضغط قليل small pressure drop.
- 2- إذا كان السائل لزجاً viscous. حيث أن هذا سيؤدي الى فرق ضغط قليل وسيكون التبادل الحراري أكبر.
- 3- عند الحاجة إلى الغليان. حيث يجب تصميمها على نمط الغلاية kettle.
- 4- السائل يحتوي على غشاء ضعيف.

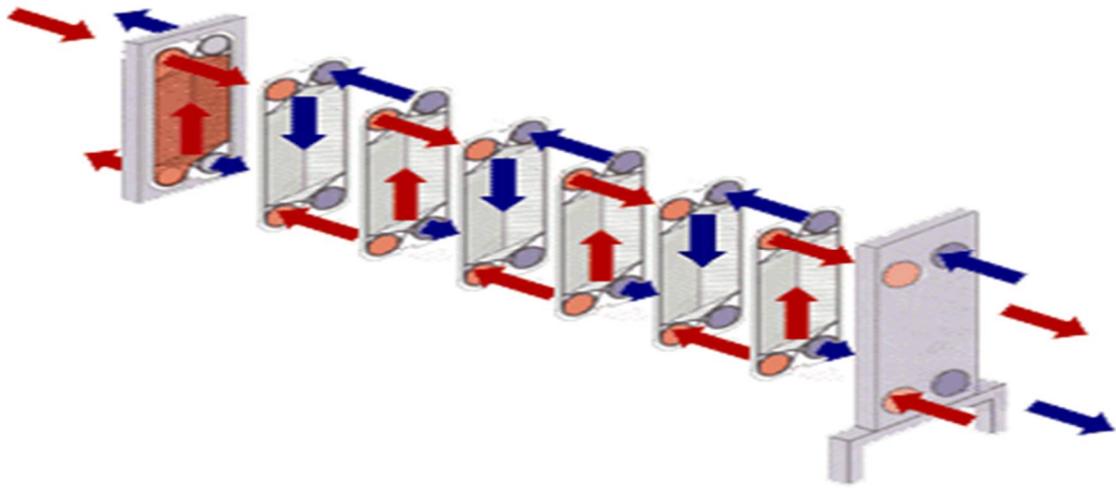
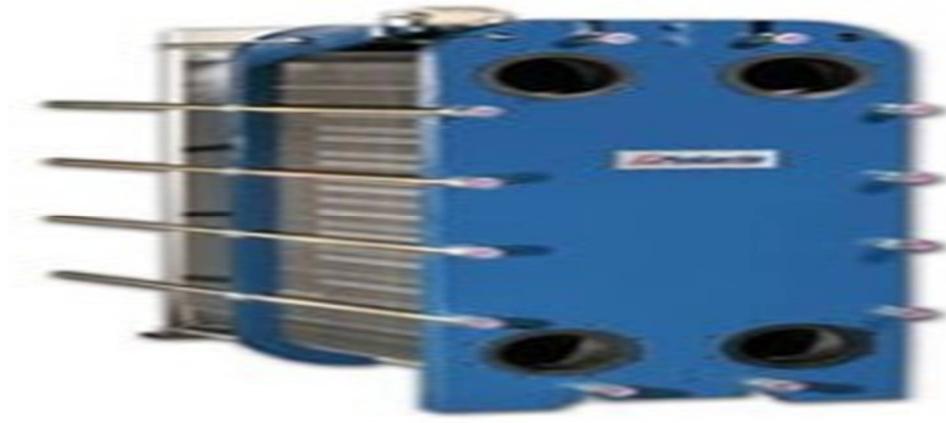


المبادل الحراري نوع Plate & Frame :

- قليل الكلفة (وخاصةً للسوائل التي تسبب التآكل).
- أصغر وأخف مقارنة بمبادل حراري نوع shell & Tube بنفس الكفاءة الحرارية.
- قلة عمليات الصيانة بالإضافة إلى سهولة زيادة سعته من خلال إضافة المزيد من الصفائح plates .
- بعض المصممين لا يفضلون استخدامه في الصناعة النفطية إلا في ظروف معينة (درجة حرارة أقل من ۳۰۰° F وضغط يتراوح بين ۱۵۰ - ۳۰۰ psig).
- لا يمكن استخدام هذا النوع من المبادلات الحرارية لسوائل عالية اللزوجة.
- يجب اختيار الصفائح من مواد مقاومة للتآكل.



Courtesy: Alfa Laval Inc.



المبادل الحراري التي تستخدم الهواء Aerial H.Ex:

وهي المبادلات التي تستعمل الهواء في تبريد الغازات الى درجة حرارة مقاربة لدرجة حرارة الجو ، ومبدأ عمل هذا النوع من المبادلات هو سحب الهواء عمودياً من الأعلى أو الأسفل ليتلامس مع أنابيب الغاز الأفقية التي تتفرع من أنبوب واحد للدخول ومن ثم تتحد الى أنبوب واحد للخروج ويتم التحكم بدرجة الحرارة بأربع طرق:

- ١- زاوية ميل ريش المروحة blade pitch .
- ٢- سرعة دوران محرك المراوح الذي يؤدي الى زيادة كمية الهواء المستعمل للتبريد.
- ٣- كما يمكن التحكم بزاوية ميل شقوق التهوية louvers. والتي يمكن التحكم بها أوتوماتيكياً أو يدوياً.
- ٤- تدوير قسم من الغاز المراد تبريده عند تغير درجات الحرارة.

مسخنات التسخين المباشر Direct Fired Heaters ومسخنات التسخين غير المباشر indirect Fired Heaters

يستخدم النوع الأول التسخين المباشر من خلال الشعلة و/ أو نواتج الاحتراق من خلال الإشعاع Radiation والحمل Convection ، ولكن الدور الأكبر هو للإشعاع حيث يجري السائل المطلوب في أنابيب حول الشعلة flame وتتلقى هذه الأنابيب القدر الأكبر من الحرارة مباشرةً عن طريق الإشعاع في حين تكون هناك كمية قليلة من الحرارة عن طريق تيارات الحمل من الهواء الساخن بين الشعلة والأنابيب أما النوع الثاني فلا يحصل تلامس بين المادة المطلوبة ونواتج الاحتراق ويتم تسخين وسط آخر مثل (الماء – البخار – أو أي سائل آخر)

لتسخين النفط أو الغاز . ويفضل أن تكون المسخنات بعيدة نسبياً عن بقية الوحدات في الصناعة النفطية ، حيث يمكن التعامل معه في حالات الحريق أو الحالات الطارئة.