الباب الخامس

قياس الضغط

تعتبر قياسات الضغط من أكثر القياسات الصناعية شيوعاً فلا يكاد يخلو منها أى مصنع مهما كان صغيراً . ويكثر استعمال مقاييس الضغط ، بصفة خاصة ، فى الصناعات الكيماوية وتغطى قياسات الضغط مدى كبيراً للغاية يمتد من أجزاء من المليون من ضغط نسمة هادئة إلى ضغوط هائلة لدرجة أنها تشوه المواد تشوهاً دائماً إذا عرضت لها . ويعرف الضغط بأنه القوة الواقعة على وحدة المساحة .

١/٥ الضغط المطلق والضغط الفرق :

يعرف الضغط المطلق لمائع (سائل أو غاز) بأنه الفرق بين ضغط المائع والصفر المطلق للضغط ، أى أنه الفرق بين ضغط السائل أو الغاز والضغط فى الفراغ التام ، ومن أمثلة الأجهزة التى تقيس الضغط المطلق البارومتر الذى يكون ارتفاع عمود الزئبق به مقياساً للفرق بين الضغط الجوى والضغط فى فراغ « تورشيلى » الواقع فوق الزئبق فى الجزء العلوى من الأنبوبة .

ومعظم مقاييس الضغط تقيس الفرق بين الضغط المطلق للمائع والضغط الجوى ، ولذلك يطلق على قيمة الضغط المعطاة « مدلول مقياس الضغط » ، وبطبيعة الحال تكون هذه القيم عبارة عن قيامس ضغط فرق ، ويكون ضغط المقياس هو الفرق بين الضغط المطلق للمائع والضغط الجوى .

مدلول مقياس الضغط = الضغط المطلق للمائع - الضغط الجوى

أو الضغط المطلق للمائع = مدلول مقياس الضغط + الضغط الجوى .

وبعض مقاييس الضغط تعطى ضغط التفريغ أى أنها تبين المقدار الذى يقل به الضغط المطلق للمائع عن الضغط الجوى ، وفى هذه الحالة فإن :

مدلول مقياس الضغط = الضغط الجوى - ضغط المائع

ومنها

الضغط المطلق للمائع = الضغط الجوى - مدلول مقياس الضغط

أما مقاييس الضغط الأخرى خلاف النوعين السابقين ، فإن قراءة مقياس الضغط التى تعطيها تكون مساوية للفرق بين الضغط المطلق لعينة من المائع ، والضغط المطلق لعينة أخرى من المائع ذاته أو الفرق بين الضغط المطلق لمائعين حسب الحالة .

٢/٥ طرق قياس الضغط :

يمكن قياس الضغط مباشرة بطريقتين إحداهما عن طريق موازنة ضغط المائع بضغط عمود من السائل ذى كثافة معلومة والثانية بالسماح للضغط لأن يعمل (يؤثر) على مساحة معينة وحيث إن الضغط = $\frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$ أو القوة = الضغط × المساحة ، فإنه سوف تنتج قوة يعتمد مقدارها على الضغط ، ويمكن قياس هذه القوة بموزانتها بثقل معلوم أو بواسطة التشوه أو التغير فى الشكل الذى تنتجه فى وسط مرن . ويمكن أيضاً قياس الضغط بطرق أخرى غير مباشرة .

٣/٥ تصنيف طرق قياس الضغط :

يمكن تصنيف طرق قياس الضغط إلى ما يلى :

١/٣/٥ قياس الضغط عن طريق الموازنة مع عمود من سائل معلوم الكثافة .

وتشمل أجهزة هذا النوع ما يلى :

أنبوبة بسيطة على شكل u ذات ساق رأسية أو مائلة وتندرج تحتها أنبوبة u البسيطة المستخدمة فى التطبيقات العملية . لقياس الضغط المطلق – ولقياس الضغط الفرق

- مانومتر ذو ورنية
- مانومتر المعايرات الدقيقة
- مانومتر سونار
- المانومترات الصناعية

٥ / ٣ / ٢ قياس الضغط عن طريق الموازنة مع قوة معلومة ويندرج تحتها مقياس الضغط ذو المكبس ، مقياس الضغط الحلقى ، ومقياس الضغط ذو الناقوس .

٥ / ٣ / ٣ قياس الضغط بالموازنة بين قوة مؤثرة على مساحة معلومة وبين الإجهاد فى وسط مرن أنابيب بوردون من النوع الحلزونى واللولبى

الغشاء المعدنى المشدود أو المنفاخ

الغشاء الرخو (المرنخى) ، قرص تدوير

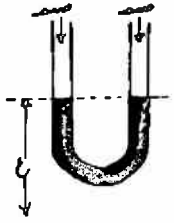
٥ / ٣ / ٤ طرق أخرى .

٥ / ٤ قياس الضغط بموازنته بعمود سائل ذى كثافة معلومة

أنبوبة U البسيطة (أو المانومتر شكل U)

إذا كان لدينا أنبوبة على شكل U تحتوى على سائل كثافته ث وتركت تحت تأثير ضغط الهواء فقط فإن السطحين للسائل فى الساقين يكونان - كما هو موضح بالشكل رقم (٢٣) - على ارتفاع واحد بالنسبة لأى خط مرجعى .

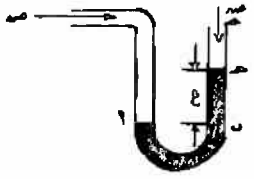
ولكن إذا وصلنا إحدى الساقين ولتكن اليسرى بمصدر هواء أو غاز أو سائل فإنه سوف يحدث قوة تعمل ، إلى أسفل ، على العمود الأيسر . وهذه القوة سوف تزيح السائل قسراً فيصعد فى الساق اليمنى حتى يحدث توازن استاتى للضغط مرة ثانية .



الشكل رقم (٢٣)

أنبوبة بها سائل واقع تحت تأثير الضغط الجوى فى كل من ساقيها

وهكذا فإن ارتفاع سطح السائل فى الساقين يتغير باستمرار حتى يصير الضغط متساوياً عند أى مستوى أفقى يعلو المرجع بارتفاع معين ع (الشكل رقم ٢٤) ، وفى هذه الحالة يكون .



الشكل رقم (٢٤) أنبوبة

ص حـ الضغط الجوى .
ص الضغط المطلوب قياسه .
ع الفرق الإرتفاع بين سطحى السائل فى الساقين .

الضغط عند ا = الضغط عند ب

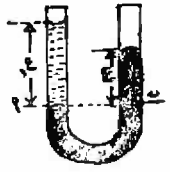
ضغط المانع عند ا = الضغط الجوى (ض جو) + ضغط عمود من السائل ب حـ

= ض جو + ع$_{1}$ ث م ماء

حيث ع$_{1}$ ث م ماء هى «مدلول مقياس الضغط ويرمز له «ع$_{1}$ ث م ماء «مقياس» .

وإذا كان المائع فى الساق اليمنى ذا كثافة لا يمكن إهمالها بالمقارنة مع كثافة السائل بالمانومتر (الأنبوبة على شكل U) . فإنه يصبح من الضرورى الأخذ فى الاعتبار

ضغط المائع فى المانومتر وأنابيب التوصيل فمثلا إذا كان المانومتر (شكل ٢٥) مستخدما لقياس ضغط بخار الماء وكانت الأنبوبة بين ا ومصدر البخار مملوءة بالماء الذى يبلغ ارتفاعه ع$_{١}$ مم بالنسبة للمستوى ا وإذا كان السائل المستخدم فى المانومتر هو الزئبق (وزنه النوعى ١٣,٥٥ عند ٢٠° م) . وبافتراض أن ع هو الفرق بين ارتفاع سطحى الزئبق فى ساق المانومتر .



لشكل رقم (٢٥)

أنبوبة ولا يوجد بإحدى ساقيها ماء .
ع : إرتفاع الماء فوق المستوى أ ب .
ع : إرتفاع السائل فوق المستوى ا ب .

.. الضغط عند ا = الضغط عند ب

ع$_{١}$ مم ماء + ضغط البخار = ١٣,٥٥ ع مم ماء + الضغط الجوى

ضغط البخار = (١٣,٥٥ ع - ع$_{١}$) مم ماء + الضغط الجوى

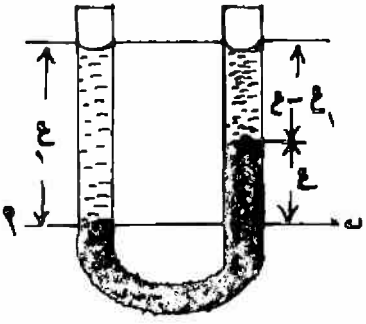
= (١٣,٥٥ ع - ع$_{١}$) مم (يد$_{٢}$ ا مقياس)

وحيث إن ضغط ١ مم ماء = ٩,٧٩ نيوتن / م ٢ = ٩,٧٩ ن / م ٢

فإن ضغط البخار = (١٣,٥٥ع ع$_{١}$) × ٩,٧٩ ن / م ٢

وبطريقة مماثلة فإنه عند استخدام نفس المانومتر داته لقياس فرق الضغط الناتج بواسطة وسيلة خنق ، كما فى حالة قياس ضغط بخار متدفق ، فإن ساق المانومتر يكون بها ماء فوق الزئبق فإذا كان ارتفاع الماء فوق أ (شكل ٢٥) هو ع$_{١}$ وكان السطح ب يعلو أ بمقدار ع فإن ارتفاع الماء فوق ب يكون ع$_{١}$ ع وبتطبيق معادلة توازن الضغط عند أ بذلك عند ب . يكون فرق الضغط أو الضغط الفرق = (١٣,٥٥ - ١) ع مم يد$_{٢}$ ا = ١٢,٥٥ ع مم يد$_{٢}$ ا .

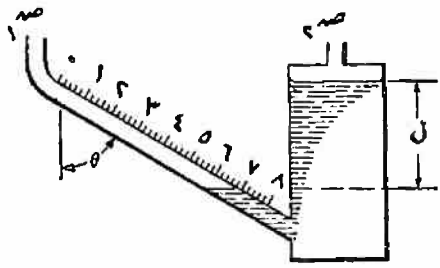
وكما رأينا فإن الضغط فى هذا النوع من المانومترات يعتمد على كثافة السوائل أو



الشكل رقم (٢٦)
أنبوبة U بها ماء فوق السائل فى الساقين

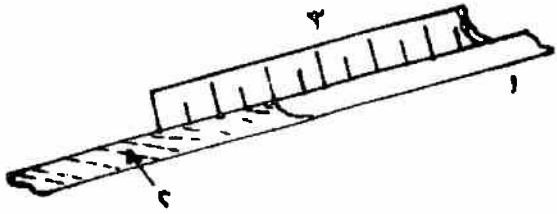
أوزانها النوعية وبما أنه يمكن استخدام موازين دقيقة لقياس هذه الكثافات ، لذا فإنه يمكن قياس الضغط بدقة بالمانومتر . وتعتبر طريقة القياس بالمانومتر هى الطريقة الأساسية أو القياسية لقياس الضغط .

وإذا كانت الضغوط المطلوب قياسها صغيرة فإنه يمكن تعديل شكل أنبوبة U وذلك بأن تكون إحدى ساقيه مائلة مما يؤدى إلى تكبير تدريجه حتى يصير طوله مساوياً أربعة أو خمسة أمثال الطول المستخدم فى أنبوبة U العادية (شكل رقم ٢٧) ، وفى العادة تصنع الأنبوبة من البلاستيك ويستخدم زيت خفيف يتم اختياره بحيث يكون خط سطح السائل فى الأنبوبة وخطوط التدريج المستعمل خطاً مستقيماً كما هو موضح بالشكل رقم (٢٨) مما يساعد على سهولة القراءة . ويصلح هذا النوع من المانومترات لقياس ضغوط تصل إلى ٤٠ مم ماء مقياس ويمكن قراءتها لأقرب ٠,٢٥ مم . ويستخدم أيضاً هذا النوع لقياس تدفق الغازات ذات الضغوط المنخفضة غير أن الأنبوبة تكون منحنية بحيث يمكن الحصول على مسافات فاصلة متساوية الأقسام على تدريج التدفق من حوالى $\frac{1}{15}$ من قيمة التدفق إلى التدفق الكامل .



المانومتر ذو الساق المائلة

الشكل رقم (٢٧)



الشكل رقم (٢٨)

شكل سطح السائل .

(١) الأنبوبة المائلة .

(٢) زيت .

(٣) تدريج .

المانومتر ذو الورنية :

يتكون الجهاز من أنبوبة u مرنة ، وأحد طرفيها يتصل بخزان بينما يتصل الطرف الآخر بغرفة للقياس ، والخزان وغرفة القياس يمكن تحريكهما رأسيًا ويمكن قياس هذه الحركة بدقة . ويحوى المانومتر مقداراً كافياً من الماء لملء كل من غرفة القياس والخزان إلى منتصفهما عندما يكونان على ارتفاع واحد . ويوجد فى قاعدة غرفة القياس إبرة من الصلب الذى لا يصدأ ، مثبتة وطرفها إلى أعلى ويمكن رؤيتها هى وصورتها المكونة بالانعكاس الداخلى بزاوية ٤٥° من نافذة فى القاع . وعندما يلامس طرف الإبرة بالكاد طرف صورتها تكون الإبرة بالكاد ملامسة للجانب الأسفل لسطح الماء وبذلك فإن سطح الماء يمكن تعيينه بدقة دون أى مضايقات من تأثير التوتر السطحى . وغرفة القياس مصنوعة من سبيكة ألومنيوم وترتبط بورنية قابلة للتحريك على عمود مدرج بواسطة لولب عمود السحب ويوصل ما بين غرفة القياس والخزان النحاس بواسطة أنبوبة من البلاستيك ، والعمود المشار إليه مركب على قاعدة مزودة بمقياس الاستواء ذى الفقاعة ومسمارين ملولبين لضبط الاستواء . ويغطى هذا الجهاز مدى ضغط يمتد من صفر إلى ٢٠٠ مم يلم١ مقياس ويمكن قياس الورنية إلى ٠,٠٢ مم ماء مقياس . وهذا الجهاز يصلح لقياس ضغوط فرقية صغيرة بوحدة مم يلم١ مقياس كما هو الحال عند قياس تدفق الهواء فى مجارى بواسطة أنبوبة استاتيكية .

المانومتر القياسى (الأمامى) :

عندما يستخدم المانومتر كأمام لمعايرة غيره من أجهزة الضغط فإنه يجب تزويده بوسائل خاصة تجعل قراءاته ذات دقة وضباطة عاليتين ، فيزود مثلا بورنية لكى تجنب القارئ اللجوء إلى تقدير أقسام التدريج ، ويزود بوسيلة تلغى حاجته لتقدير

الوضع الصحيح لسطح السائل فى الأنبوبة ، ووسيلة لضمان أن عمود السائل يكون أفقياً ، كما يؤخذ فى الاعتبار أى تغير فى درجة الحرارة واختلاف الجاذبية الأرضية من مكان إلى آخر ومدى القياس فى هذا النوع من المانومتر - ١٠٨٠ ملى بار ويمكن قراءته لأقرب ٠,١ ملى باربواسطة الورنية ، وتبلغ دقته حوالى ± ٠,٠٠٠٢ وحساسية حوالى ٠,٠٠٠٠٠٤ .

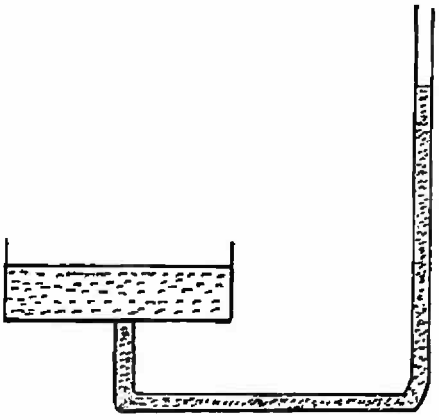
مانومتر رجع الصوت (سونار) :

هذا المانومتر عبارة عن مانومتر أمامى معدل ، يتم فيه قياس الفرق بين مستوى سطحى الزئبق فى عمودى المانومتر رقمياً ، وعرضه الكترونياً كقراءة للضغط . ويصل مداه حتى ١٠٨٠ ملى بار وأصغر وحدة به هى ٠,٠١ ملى بار . ويتم القياس فى هذا المانومتر بواسطة نظام صوتى - الكترونى تتوفر له إمكانية قراءة الضغط بأى معدل زمنى يتراوح ما بين ١٠ قراءات فى الثانية الواحدة وقراءة واحدة كل خمس ثوان ، تبعاً للضبط اليدوى لزر معدل العينات المنضبط . وعند بداية دورة القياس ترسل نبضة كهربية مستقلة إلى محول طاقة موجود عند قاع عمود الزئبق ، ويقوم كل من المحولين بتحويل النبضة الكهربائية إلى نبضة صوت فوق سمعية تسافر باتجاه السطح حيث تعكس بواسطة سطح عمود الزئبق . وتعود ثانية إلى محول الطاقة حيث يعاد تحويلها ثانية إلى نبضة كهربائية . وبطبيعة الحال فإن النبضة التى تمر فى العمود الأقصر تصل أسرع من النبضة الخاصة بالعمود الأطول ، وذلك لأن سرعة الموجات فوق السمعية فى العمودين واحدة وعند وصول النبضة الخاصة بالعمود الأقصر إلى محول الطاقة الخاص بها فإنها تستعمل فى بدء العد لكى تغذى النبضات من مذبذب مؤقت ذى بلورة متحكم فيها إلى عداد رقمى ، وعندما تصل النبضة الخاصة بالعمود الأطول فإنها توقف العد . ويتناسب عدد النبضات المقيسة مع الفرق بين طولى عمودى الزئبق ويترجمها الجهاز مباشرة إلى وحدات ضغط .

المانومترات الصناعية :

تكون الأنبوبة شكل U ، عادة ، مصنوعة من الزجاج وتحتوى سائلا مناسباً ، ولكن بعض الاستخدامات الصناعية تقتضى أن تكون هذه الأنبوبة من مادة أكثر تحملا للاستخدام عن الزجاج . وقد استخدم لهذا الغرض أنابيب من الصلب ، ومن البديهى أنه . فى هذه الحالة ، لا يمكن رؤية سطح السائل ، وقراءته بطريقة مباشرة . لذلك تستعمل وسيلة لتحريك المؤشر الواقع خارج الأنبوبة U لبيان مستوى الزئبق بداخلها . وإذا كانت إحدى ساق الأنبوبة معرضة للجو مباشرة ، فإنه يكون من السهل وضع عوامة (جسم طاف) فى هذه الساق ، وتقوم هذه العوامة بتشغيل آلية تحريك المؤشر . وعند قياس ضعوط فرقية ، كما فى حالة قياس التدفق ، فإنه يكون من الضرورى إحكام إغلاق جانبى الأنبوبة ، مع استخدام طرق أخرى لنقل موضع سطح السائل .

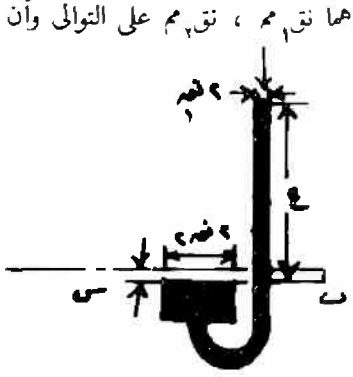
وقد وجد أنه من المناسب استخدام مانومتر ذى خزان (شكل رقم ٢٩) وهو عبارة عن مانومتر U معدل بحيث تكون إحدى ساقيه كبيرة ، بالنسبة للساق



شكل رقم (٢٩)
المانومتر ذو الخزان

الأخرى ، ويطلق على الساق الكبيرة – المساحة « الخزان » ، والأخرى ساق القياس وهى عبارة عن أنبوبة صغيرة المقطع ، وعندما يعرض هذا المانومتر لضغط فرق فإن ارتفاع الزئبق فى إحدى الساقين لا يساوى الانخفاض فى الثانية ، لأن السائل المزاح فى إحداهما لا يعطى نفس الارتفاع فى الثانية ، فمثلا إذا كانت مساحة مقطع الخزان ١٠٠ سم٢ ومساحة مقطع الأنبوبة ١ سم٢ فقط فإن عموداً من السائل ارتفاعه ١ سم فقط بالخزان عند إزاحته ، تحت تأثير الضغط ، إلى الساق الأخرى يرفع مستوى السائل بها ١٠٠ سم ، وهذا يعنى أن الارتفاع فى ساق والانخفاض فى الأخرى يعتمد على مساحة مقطعها .

وإذا فرضنا أن ضغطاً فرقياً ارتفاعه ع فى مانومتر زئبقى كما فى الشكل رقم (٣٠) ، وأن نصف قطر مقطع الأنبوبة والخزان هما نق١ مم ، نق٢ مم على التوالى وأن انخفاض مستوى الزئبق فى الخزان س



الشكل رقم (٣٠)
مانومتر ذو الخزان

∴ حجم الزئبق المزاح من الخزان = حجم الزئبق الذى دخل أنبوبة القياس

$$\therefore \text{ط نق}_2^2 \cdot \text{س} = (\text{ع} - \text{س}) \text{ ط نق}_1^2$$

$$\text{نق}_2^2 \cdot \text{س} = \text{ع نق}_1^2 - \text{س نق}_1^2$$

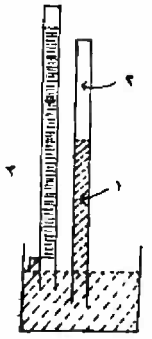
$$\text{س} (\text{نق}_2^2 + \text{نق}_1^2) = \text{ع نق}_1^2$$

$$\text{س} = \text{ع} \frac{\text{نق}_1^2}{\text{نق}_2^2 + \text{نق}_1^2} \text{ مم} = \text{ع} \frac{\text{ق}_1^2}{\text{ق}_2^2 + \text{ق}_1^2} \text{ مم}$$

وبذلك فإنه يمكن عن طريق التحكم فى قطرى الأنبوبة والخزان ، تحديد العلاقة بين س ، ع بحيث تكون الأولى جزءاً صغيراً من الثانية وفى ذلك مزايا واضحة ، إذ أنه يمكن تحديد المسافة التى تتحركها العوامة بالقدر المناسب نقله لآلية تحريك المؤشر ، كما أنه يمكن عن طريق تغيير قطر الخزان أو الأنبوبة تغيير مدى الجهاز دون حاجة لتغيير أى شىء آخر ، ويمكن فى حالة قياس معدل التدفق بدلالة الضغط الفرق جعل الخزان ذا شكل مناسب بحيث تتحرك العوامة بمقادير متساوية مقابلة للتغيرات المتساوية فى التدفق ، وأخيراً فإن كبر قطر الخزان يجعل القوة المتاحة للعوامة كبيرة بما يكفى لتحريك المؤشر مع تقليل تأثيرات الاحتكاك .

البارومتر :

البارومتر (شكل ٣١) أحد أنواع مقاييس الضغط المطلق ذات الخزان ويشمل مداه أى ضغط مطلق من الصفر إلى الضغط الجوى وتكون قراءته بالمليمتر زئبق ولا يستخدم فى قياس التفريغ العالى . وللحصول على قيم صحيحة لارتفاع العمود فإن سطح السائل فى الخزان يضبط على المؤشر بواسطة تغيير حجم الخزان ، كما يستخدم تصحيح مناسب لتأثيرات التغيير فى درجة الحرارة .



الشكل رقم (٣١)

البارومتر ما هو إلا مانومتر محراق من نوع خاص يكون فيه الضغط صفراً أو أقرب ما يمكن له) فى الجانب ذى الضغط الأدنى ويضبط التدريج بحيث يكون المؤشر دائماً عند سطح السائل

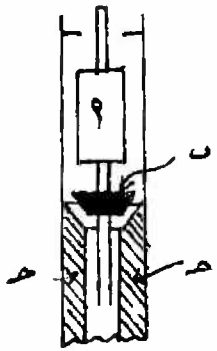
(١) سائل .

(٢) فراغ (بقدر الإمكان) .

(٣) تدريج .

وسيلة تجنب أخطار التحميل الزائد :

قد يحدث ، لسبب أو لآخر ، زيادة الضغط الفرق المسلط على مقياس الضغط زيادة كبيرة بحيث يتجاوز القيمة المعتادة وحينئذ قد يقذف الزئبق خارج الجهاز إلى الأنابيب وأنحاء من المصنع إذا لم يستخدم صماما مراجعة . وأكثر أنواع هذه الصمامات شيوعاً موضح بالشكل رقم (٣٢) ويتكون من عوامة ثقيلة أ ذات صمام مخروطى ب فى



الشكل رقم (٣٢)

صمام مراجعة .
(ا) عوامة
(ب) صمام مخروطى .
(جـ) قاعدة .

الجانب السفلى منها وقاعدة حـ ، ويركب صمام مراجعة فى كل ساق من ساق المانومتر ، وفى حالات التشغيل العادية يقوم الدفع الناتج عن الزئبق برفع العوامة ، ويكون هناك خلوص بينها وبين القاعدة حـ . غير أنه عند حدوث تدفق مفاجئ إلى أسفل فإن تيار التدفق يحمل العوامة معه حتى تجلس على قاعدتها وبذلك فإنها تعمل على إحكام غلق الساق ووقف التدفق . وأيضاً فإن الصمام يعمل ، عندما ينخفض منسوب الزئبق إلى الدرجة التى لم يعد فيها كافياً لحمل العوامة ، فتهبط وتستقر على قاعدتها ، وتمنع التدفق . وفى مثل هذه الحالة فإنه إذا كان حجم الساقين كافياً لاستيعاب الزئبق كله فإن الجهاز يعود إلى حالة التشغيل المعتادة بعد زوال التحميل الزائد .

٥ / ٥ وسائل التخميد :

عندما يكون الضغط الفرق المراد قياسه ذا نبضات ، فإنه تستخدم وسيلة لتخميد هذه النبضات ، وهى عبارة عن صمام تقييد يمكن ضبطه أثناء استخدام مقياس الضغط ، ويوضع فى الأنبوبة الموصلة بين الساقين .

٥ / ٦ قياسات الضغط بواسطة موازنة القوة الناتجة على مساحة معلومة ، مع قوة مقيسة : .

٥ / ٦ / ١ طريقة المكبس :

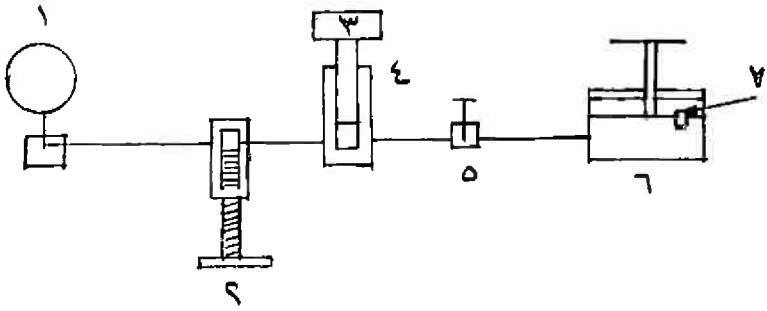
يعتبر المانومتر السائل جهازاً لقياس ضغوط منخفضة ، وحتى لو استعمل الزئبق فإن هناك حداً للضغوط التى يمكن قياسها ، إذ لا يمكن استعماله لضغوط عالية ، فطول كل من ساقى المانومتر تحددها اعتبارات عملية ، وأنسب جهاز لقياس الضغوط العالية هو مقياس الضغط ذو المكبس الحر ، ويصلح هذا الجهاز لمعايرة أجهزة الضغط ذات الغشاء ، أو ذات أنبوبة بوردون . وفى هذا النوع من الأجهزة تقاس القوة المؤثرة على مكبس معلوم مساحته مباشرة بالثقل الذى يمكنه حمله .

جهاز اختبار الضغط ذو الحمل المباشر : بنى هذا الجهاز بالإفادة من العلاقة التالية :

$$\text{الضغط} \quad \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$$

ويوضح الشكل رقم ٣٣ تخطيطاً يوضح أجزاء هذا الجهاز .

وهو يستعمل كأمام لمعايرة أجهزة الضغط الأخرى التى لا يمكن استخدام المانومتر السائل لمعايرتها . وتعتمد دقة هذا الجهاز - بدرجة كبيرة - على دقة صناعة المكبس الذى يجب أن تكون التفاوتات فى كل من قطره واستدارته واستواء سطحه صغيرة جداً ، وتصنع المكابس من صلب مصلد ومقسى ومجلخ ومصقول بدقة . ثم يوفق بين المكبس وأسطوانته بحيث يوجد بينهما أدنى خلوص ممكن ، ويفترض أن قطر هذا



الشكل رقم (٣٣)

رسم تخطيطى لجهاز اختبار الضغط ذو الحمل المباشر

(١) مقياس الضغط.
(٢) مكبس لولبي.
(٣) ثقل و
(٤) مكبس مساحته أ سم٢
(٥) صمام (يكون مفتوحاً فقط عند التحضير).
(٦) مضخة تحضير أولية وحرن.
(٧) صمام تنفيس (تخفيف)

المكبس الفعال هو متوسط قطرى المكبس وأسطوانته . وتملأ الأسطوانة بزيت معدنى خفيف ، خال من الأحماض والراتنجات ، وذلك للاستخدام فى ضغوط تصل إلى ٥٥٠ باراً ، وتملأ الأسطوانة بزيت الخروع للضغوط الأعلى من ٥٥٠ باراً . ولكى يتم التخلص من تأثيرات الاحتكاك ، يدار المكبس أثناء أخذ القراءة ، ويضمن هذا الدوران أن المكبس ليس محمولا ، ولو جزئياً بواسطة مقاومة الاحتكاك الناشئ بين الزيت والجهاز . وعندما يكون مدى الضغط للجهاز أقل من ٥٥٠ باراً فإن السنج (الأثقال) توضع مباشرة على قمة المكبس ، ولكن هذه الطريقة لا تصلح للأجهزة المستخدمة لضغوط أعلى من ٥٥٠ باراً ذلك أنه يلزم عدد كبير من السنج ، عند تكويمها فوق بعضها فقد لا تكون جميعها متمركزة حول امتداد محور المكبس ، مما ينتج أخطاء كبيرة بسبب الاحتكاك . ولهذا فإنه يستعمل تصميم خاص لطريقة تدعيم حامل الأثقال الذى يتكون من منصة حول أسفل أنبوبة طويلة أو الطرف العلوى ،

وهذه الأنبوبة على هيئة قبة تجلس على كرة ، وبذلك يتم تجنب أية إجهادات جانبية . ويبنى الضغط فى جهاز اختبار مقاييس الضغط بواسطة مضخة تحضير ومكبس لولبى .

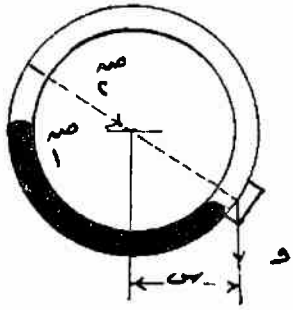
ويراعى عند اختبار أو معايرة مقاييس ضغط الأكسجين بهذا الجهاز ، عدم السماح بدخول الزيت إلى المقياس ؛ لأن بخار الزيت يكون مخلوطاً متفجراً مع الأوكسجين . ولذلك فإنه بالنسبة لضغوط حتى ٢٠ باراً يمكن اختبار مقاييس ضغط الأوكسجين بالماء أو الهواء وبالنسبة للضغوط من ٢٠ – ٥٥٠ باراً فإنه يلزم استعمال مانع للتسرب كما سيأتى ذكره فيما بعد .

وحيث إن السنج المستخدمة تحدد الحمل المسلط على مساحة معلومة وثابتة هى مساحة المكبس ، فإن هذه السنج يتم إعدادها بقيم مناسبة لمضاعفات وحدات الضغط مثل نيوتن على المتر المربع (ن/م٢) أو البار) .

وقد تمت صناعة نوع من مقاييس اختبار الضغط ذى الحمل المباشر التى تحتوى على وحدة مكونة من مكبسين أحدهما مساحته ٨٠,٦٤ مم٢ والآخر مساحته ٤,٠٣٢ مم . وهذا التصميم يقلل عدد السنج المطلوبة لتغطية مدى الجهاز كما يوفر الجهد المبذول لرفعها عن مكبس الجهاز إذ يمكن استعمال أى من المكبسين مع التأثير بنفس السنج . فمثلا لاختبار مقياس ضغط مداه من صفر حتى ١٤٠ باراً (مقياس) يمكن وضع سنج مناظرة لضغط ٧ بارا (مقياس) على المكبس الكبير ويرفع الضغط إلى ٧ بارا (مقياس) ، ويدار المكبس اللولبى فيتوقف المكبس الكبير عن العمل ، وعندما يصل الضغط إلى ١٤٠ باراً (مقياس) ، يشغل المكبس الصغير دون إضافة أية سنج أخرى . ويوجد على الجهاز بيان لونى يدل على المكبس المستخدم . هذا ويكون الجهاز مصحوباً بشهادة من صانعه محددة لدقته وبها عبارة تدل على أن خطأ القراءات بالجهاز لا يتعدى ٠,٠٣ ٪ من قيمة الضغط المقيس .

المانومتر الحلقى : يستخدم المانومتر الحلقى كثيراً فى قياس ضغوط فرقية صغيرة فى حدود ١٠٠ مم ماء (مقياس) ويتكون هذا المانومتر أساساً من حلقة (شكل رقم ٣٤)

جوفاء دائرية المقطع مقسمة فى جزئها العلوى ومملوء جزئيا بسائل . بحيث تكون غرفتين لقياس الضغط وتستند الحلقة عند منتصفها على حافة سلكين فوق سطح حامل ، أو بواسطة محمل كريات أو دلافين . وتصنع الحلقة من المعدن أو البلاستيك تبعاً لنوع الغاز الذى يقاس ضغطه . وأيضاً فإن الغاز هو الذى يحدد طبيعة السائل المستخدم . ويعمل هذا السائل كمانع للتسرب فقط . ولهذا فإنه لا يؤثر فى معايرة الجهاز . وتنتج القوة التى



الشكل رقم (٣٤)
مانومتر حلقى

تشغل الجهاز عن فرق الضغط على جانبى الحاجز . ولذلك تجعل مساحة المقطع العرضى للحلقة كبيرة عندما يكون الضغط الفرق المقيس صغيراً والعكس بالعكس . ويتم قياس فرق الضغط بين سائلين يتم إدخالهما فى الحلقة عن طريق توصيلات مرنة . وهذه التوصيلات توضع بحيث يكون طولها وحركتها أقل ما يمكن . وتوازن الحلقة بواسطة ثقل تحكم يكون فى أدنى نقطة عندما يتساوى الضغط على جانبى الحاجز .

وإذا كانت مساحة المقطع للحلقة ، وقطرها المتوسط هما ١ متر مربع ، نق متر على التوالى ، وكان ثقل الموازنة على بعد نق$_{١}$ متر من محور الارتكاز ، وكان الضغط المسلط على أحد الجانبين ض$_{١}$ ن/م^{٢} وعلى الجانب الآخر ض$_{٢}$ ن/م^{٢} حيث ض$_{٢}$ > ض$_{١}$

∴ القوة المؤثرة على الحاجز = (ض$_{٢}$ − ض$_{١}$) أنيوتن

وتأثير أوعزم الدوران الناتج عن هذه القوة هو (ض$_{٢}$ − ض$_{١}$) نق أ ن م حول المركز . ونتيجة لذلك ، تدور الحلقة فى اتجاه ضد عقارب الساعة إلى أن يتوازن هذا

العزم بعزم ثقل الموازنة ، إذا كان هذا الثقل « و » على بعد س متراً عن الخط الرأسى المار بمجرد الإرتكاز .

$$(ض_{٢} - ض_{١}) \text{ أ ق} = و س$$

$$ض_{٢} - ض_{١} = \left[\frac{س و}{\text{أ ق}}\right]$$

أى أن فرق الضغط يتناسب مع المسافة س . وثابت التناسب $\frac{و}{\text{أ ق}}$

وبذلك تكون س مقياساً للضغط الفرق (ض٢ ض١) ولكن $\frac{س}{\text{ق١}}$ حاب

حيث ب هى الزاوية التى دارتها الحلقة

$$\therefore ض_{٢} \; ض_{١} \; \frac{\text{ق١ و}}{\text{أ ق}} \text{ حاب}$$

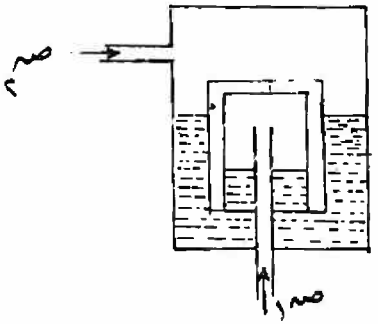
ويمكن استخدام المانومتر ذى الحلقة لقياس ضغوط استاتيكية مختلفة ويعتمد مداه على طبيعة وسمك مادته وعلى قيمة الضغط التى تتحملها الوصلات الخاصة به ، ولقياس ضغوط عالية جداً تصنع الحلقة من الصلب وتزود بتوصيلات مرنة بداخلها أنابيب .

ويمكن كذلك استخدام المانومتر ذى الحلقة فى قياس الضغوط الفرقية ، ويتوقف مدى قياسه فى هذه الحالة على مقاس الحلقة وطبيعته ومقدار السائل المانع للتسرب .

٥ / ٦ / ٢ مقياس الضغط ذو الناقوس :

يستخدم مقياس الضغط ذو الناقوس ، بكثرة فى الصناعة ، لقياس ضغوط منخفضة ٢٥٠ بسكالا إلى ٢٥٠٠ بسكال (أى ما يعادل مدى ضغط من ١ إلى ١٠ بوصات ماء) ويمكن تقليل الاحتكاك فى هذا المقياس ، عن طريق التصميم المناسب ، بحيث يستجيب للتغيرات الطفيفة فى الضغط التى نقابلها فى الصناعة باستثناء قياسات ضغط التفريغ العالى . ويتكون هذا الجهاز من ناقوس مقلوب (طرفه المفتوح إلى أسفل) فى غرفة محكمة مصنوعة من الحديد الزهر وتحتوى سائلاً مثل الرئبق أو الزيت

ويغطى المائل الطرف المفتوح للناقوس ويعمل كمانع للتسرب مكوناً بذلك غرفتين ، وفى هذا النوع من الأجهزة الذى تقوم به الجاذبية الأرضية بعمل القوة الحاكمة ، يوصل الضغط الأعلى إلى داخل الناقوس ، بينما يؤثر الضغط الأقل على السطح الخارجى للناقوس . والفرق بين الضغطين يعطى قوة رافعة وكلما خرج جزء من الناقوس من السائل فإنه يفقد جزءاً من قوة الطفو (الدفع الأعلى) ويزداد وزنه ويستمر فى الارتفاع حتى يحدث التوازن بين القوة المؤثرة لأعلى ، والوزن الظاهرى له . وحيث إن الضغط داخل الناقوس يكون أكبر من الضغط خارجه فإن ذلك يجعل مستوى السائل خارج الناقوس أعلى من مستوى السائل بالداخل بالإضافة إلى جعل الناقوس يرتفع . ويوضح الشكل رقم (٣٥) ناقوساً من هذا النوع .



الشكل رقم (٣٥)

ناقوس

ص ١ : ضغط منخفض

ص ٢ : ضغط عال

ص١ : ضغط منخفض

ص٢ : ضغط عال .

ويوجد نوع ثان من مقياس الضغط ذى الناقوس ، يكون فيه الناقوس مصنوعاً من مادة رفيعة السمك ويتم الحصول على القوة الحاكمة بواسطة زنبرك . وتكون تأثيرات الإزاحة فى هذه الحالة ذات تأثير صغير بحيث إنه يمكن إهمالها تماماً إذا كان السائل المانع للتسرب ليس كثيفاً جداً وبما أن الناقوس مصنوع من مادة رفيعة فإن المساحتين اللتين يؤثر عليهما من الداخل ومن الخارج تكونان متساويتين ولتكن كل منهما م ، ويدخل الضغط العالى إلى الجهاز بحيث يؤثر على السطح الخارجى للناقوس بينما يؤثر الضغط

المنخفض على السطح الداخلى . وعندئذ فإن الفرق بين القوتين المؤثرتين نتيجة هذين الضغطين يساوى (ض١ - ض٢) ط ١٠ × ن وباستعمال قانون هوك .

$$\frac{\text{التغير فى طول الزنبرك}}{\text{الطول الأصلى للزنبرك}} = \frac{\text{القوة المؤثرة}}{\text{معامل المرونة الزنبرك}}$$

وبما أن التغير فى طول الزنبرك يساوى التغير فى وضع الناقوس أى إزاحته

$$\therefore \text{التغير فى وضع الناقوس} = \frac{\text{الطول الأصلى الزنبرك} \times (\text{ض}_1 - \text{ض}_2)\text{م}_1}{\text{معامل مرونة الزنبرك}}$$

أى أن إزاحة الناقوس = ثابت (ص١ − ض٢)

= ثابت × الضغط الفرق

وعلى ذلك فإنه يمكن قياس الضغط الفرق بواسطة قياس إزاحة الناقوس . ويتحدد مدى القياس للجهاز بقيمة معامل المرونة للزنبرك المستخدم ، وكذلك كثافة السائل المانع للتسرب . ويستخدم سائل عضوى كمانع تسرب لقياس ضغوط منخفضة تصل إلى بضعة ملليمترات من الزئبق . ويستخدم الزئبق بدلاً من السائل العضوى فى حالة قياس ضغوط عالية . ويمكن استخدام ناقوسين مقلوبين فى حمام زيت مع تعليقهما فى عاتق ميزان محمول على محامل خاصة بحيث يكون الاحتكاك عندها أقل ما يمكن ويدخل الضغطان المطلوب مقارنتهما كل فى داخل ناقوس ويبين الفرق بين الضغطين (أى الضغط الفرق) بواسطة مؤشر يتحرك مع عاتق الميزان ، ونظراً لأن قوة الاستعادة صغيرة إذ أنها ناتجة عن تغير موضع مركز عاتق الميزان ، فإن الجهاز يكون حساساً للتغيرات الضئيلة . ويمكن لهذا الجهاز كشف أى تغير فى الضغط يبلغ ٢,٥ × ١٠ $^{-٢}$ مم ماء (مقياس) لذا فإنه يستخدم فى التحكم فى ضغوط الأفران .

٥ / ٦ / ٣ مقياس الضغط ذو الغشاء اللين :

توجد فى الصناعة بعض حالات يلزم فيها قياس ضغوط فى حدود (١٠ سم ماء) وفى الوقت ذاته تحتم اعتبارات خاصة بالمكان المتاح ، وبسهولة الخدمة . عدم استعمال مانومتر سائلى . ولكن يستخدم مقياس الضغط ذو الغشاء اللين وهو يتكون من مكبس محكم ضد التسرب بواسطة مادة لينة مرنة جداً لا تتطلب إلا قوة ضئيلة جداً لتغيير شكلها ، وتستعمل القوة الدافعة على المكبس بواسطة الضغط المسلط عليه فى تغيير شكل زنبرك المدى وبالتالى تحريك المؤشر المتصل به ميكانيكياً .

٥ / ٧ قياس الضغط بموازنة القوة الناتجة على مساحة معلومة والإجهاد الناتج فى وسط مرن .

٥ / ٧ / ١ أنابيب بوردون :

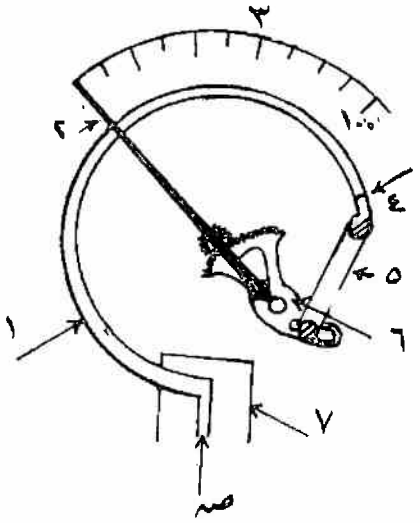
وضع التصميم الأساسى لأنبوبة بوردون فى فرنسا منذ أكثر من مائة وثلاثين عاماً ، ولم يتغير هذا التصميم منذ ذلك الحين إلا تغييراً طفيفاً . وطبقاً لما جاء فى براءة اختراعها عام ١٨٥٢ فإن أنبوبة بوردون عبارة عن أنبوبة منحنية أو ملتوية ومقطعها العرضى غير دائرى . وعند تسليط ضغط داخلها يزول الالتواء فى شكلها وتصبح مستقيمة وتنقل حركة الطرف الحر لها إلى مؤشر أو عنصر بيان . والأنبوبة يابسة لدرجة أن معظم القوة الناتجة عن الضغط تستنفد فى تغيير شكلها أوفردها ، أما الجزء اليسير المتبقى من هذه القوة الداخلية فإنه يكون متاحاً لتحريك وسيلة البيان وتتحدد المادة التى تصنع منها أنبوبة بوردون بعدة عوامل منها عدد دورات التشغيل المطلوبة وقابلية المادة للتشكيل ونوع المائع الذى يقاس ضغطه ، وتوجد ثلاثة أشكال من أنابيب بوردون هى الدائرية والحلزونية واللولبية .

١/١/٧/٥ أنبوبة بوردون الدائرية :

تتكون أنبوبة بوردون . فى أبسط صورها ، من أنبوبة ذات مقطع بيضاوى الشكل منحنية على شكل قوس دائرى يعمل زاوية مقدارها حوالى ٢٥٠° عندالمركز . وأحد طرفى الأنبوبة مغلق ويرتبط عن طريق وصلات خفيفة بآلية تشغيل المؤشر . وطرفها الثانى مثبت ومفتوح لتلقى المائع المطلوب قياس ضغطه . ويميل الضغط الداخلى إلى تغيير مقطع الأنبوبة من البيضاوى إلى الدائرى . وهذا يجعل الأنبوبة مستقيمة . وتؤدى حركة الطرف الحر الناتجة إلى تحرك المؤشر على تدريجه . وعند قياس ضغط يقل عن الضغط الجوى فإن الطرف الحر للأنبوبة يميل إلى التحرك باتجاه المسند ، لذلك يجب عكس آلية تحريك المؤشر إذا أريد له أن يبين الفرق بين الضغط المسلط والضغط الجوى فى اتجاه عقارب الساعة على التدريج . وتصنع الأنبوبة من مادة يتم اختيارها تبعاً لطبيعة المائع الذى يقاس ضغطه ويعتمد سمكها على مدى القياس المطلوب . وتحدد الأبعاد الحقيقية للأنبوبة القوة المتاحة لتحريك آلية المؤشر ، ويجب أن تكون هذه القوة بالقدر الكافى الذى يمكن معه إهمال قوة الاحتكاك . وعندما لا تكون هناك أية مشاكل خاصة بالصدأ ، فإنه يمكن صناعة الأنبوبة بطريقة السحب من أنبوبة فوسفور– برونزذات وصلات ملحومة بسبيكة رخوة أو بالنحاس وذلك لمدى ضغط ١–٧٠ بار (مقياس) ، كما تستخدم أنبوبة بريليوم– نحاس مسحوبة ومعالجة حرارياً وذات وصلات ملحومة بالبخار لضغوط أعلى تصل إلى ٣٥٠ باراً (مقياس) ، أنبوبة من سبيكة الصلب مشكلة بالسحب ذات وصلات ملولبة وملحومة بالنسبة لضغوط أعلى من ٣٥٠ باراً وإذا أريد أن تكون الأنبوبة مقاومة للتآكل بالسائل الذى يقاس ضغطه فإنه تستخدم أنبوبة صلب كربونى مشكلة بالسحب وذات وصلات ملحومة بسبيكة رخوة للمدى ١ – ٣٥ باراً (مقياس) ، أنبوبة فولاذ لا يصدأ مشكلة بالسحب وذات وصلات ملحومة للمدى ٢ – ٧٠ باراً ، وأنبوبة مونل k مشكلة بالسحب ، وذات وصلات ملولبة ، وملحومة للمدى ٧٠ – ١٤٠٠ باراً .

ويمكن ، بالإضافة إلى قياس ضغوط أكبر من الضغط الجوى ، استخدام أنبوبة بوردون من هذا النوع لقياس ضغوط أقل من الضغط الجوى . ويمكن استخدامها لقياس ضغط البخار فى غلايات ثابتة أوغلايات ماكينات الديزل وهى تستخدم على نطاق واسع ، لقياس ضغط كل من الماء والهواء وثانى أكسيد الكربون ، وأنواع أخرى شتى من السوائل والغازات . ويوضح الشكل رقم (٣٦) أنبوبة بوردون من النوع c وأجزاءها المختلفة . ويمكن قياس الضغوط بواسطة أنبوبة بوردون من هذا النوع والخاصة للأغراض الصناعية بدقة ± ٥ ٪ من المدى .

وإذا اختلفت درجة حرارة السائل الذى يقاس ضغطه عن درجة الحرارة التى تمت معايرة المقياس عندها ، فإن القراءات تكون بها أخطاء عند الصفر ، وعند أية نقطة



الشكل رقم (٣٦)

(١) أنبوبة بوردون .
(٢) مؤشر .
(٣) تدريج .
(٤) طرف معلق .
(٥) وصلة .
(٦) ترس قطاعى وترس صغير .
(٧) جلبة .

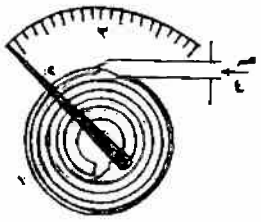
أخرى على التدريج . ويعتمد خطأ الصفر على معامل تمدد مواد أنبوبة بوردون . والوصلة . فمثلاً خطأ الصفر بالنسبة لمقياس ضغط ذى وصلة مصنوعة من الفوسفور برونز يساوى ٠,١ فى المائة من انحراف التدريج الكامل للارتفاع فى درجة الحرارة قدره

٢٠° م ، وبالنسبة لمقياس ضغطه مماثل ذى أنبوبة مصنوعة من الصلب فإن هذا الخطأ يساوى ٠,٥ فى المائة من التدريج الكامل عند درجة الحرارة ذاتها .

ويؤدى الارتفاع فى درجة الحرارة إلى نقص معامل « يونج » للمرونة الخاص بمادة الأنبوبة وهذا يؤدى إلى زيادة انحراف طرف أنبوبة بوردون بالنسبة لضغط مسلط معين. والخطأ الناتج عن هذا التأثير- بالنسبة لارتفاع فى درجة الحرارة مقداره ٢٠° م فى مدى درجات الحرارة المعتادة يكون حوالى ٠,٧ ٪ من الضغط المسلط فى أنابيب مصنوعة من الفوسفور برونز ، وحوالى ٠,٥ ٪ للأنابيب المصنوعة من سبائك الصلب .

أنبوبة بوردون الحلزونية :

تستخدم أنبوبة بوردون الحلزونية (شكل رقم ٣٧) عندما تكون حركة الطرف الحر



الشكل رقم (٣٧)

(١) أنبوبة بوردون الحلزونية .

١ - حلزون .

٢ - مؤشر .

٣ - تدريج .

٤ ٤ مدخل الضغط المراد قياسه .

فى أنبوبة بوردون على شكل C غير كافية لإعطاء الحركة المطلوبة ، وحيث إن الطرف الحر تكون حركته أكبر فى حالة الأنبوبة الحلزونية فإنه لا يكون من الضرورى فى معظم الأحوال استخدام تكبير ميكانيكى ، وبذلك فإنه يمكن الحصول على دقة أفضل . وتصنع الأنبوبة الحلزونية بلف أنبوبة ذات مقطع مفلطح لتتخذ شكل حلزون مكون من عدة لفات ، وعندما يؤثر الضغط فى داخل الأنبوبة فإنه يميل لفك اللفات معطياً بذلك حركة أطول نسبياً للطرف وهذه الحركة يمكن استخدامها للدلالة على الضغط أولنقله . وتصنع أنابيب هذا النوع من صلب الكروم موليبدنوم وتلحم جميع الوصلات وتعالج

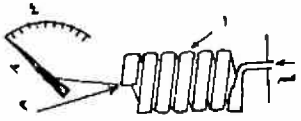
بالحرارة لإزالة أية إجهادات فى الأنبوبة ، وهذا يضمن تجانس خصائص المرونة فى جميع أجزاء الأنبوبة . وفى العادة تكون دقة الأنبوبة الحلزونية حوالى ± ٠,٥ ٪ ويستخدم مقياس الضغط ذو الأنبوبة الحلزونية لقياس الضغوط المنخفضة .

أنبوبة بوردون اللولبية :

هذه الأنبوبة (شكل ٣٨ تشبه أنبوبة بوردون الحلزونية ، غير أنها تلف على شكل لولب ، وهذا يزيد فى حركة الطرف الحر معطياً تكبيراً أكبر مما تعطى الأنبوبة الحلزونية .

وهى تستخدم فى قياسات الضغوط العالية . ويعتمد عدد لفات الأنبوبة على مدى الضغط ، وتقل عدد اللفات إلى حوالى ثلاث إذا كان امتداد الضغوط المقيسة صعيراً

أنبوبة بوردون لولبية
(١) لولب
(٢) طرف يتحرك
(٣) مؤشر
(٤) تدريج
ص = الضغط المقيس



الشكل رقم (٣٨)

وقد تبلغ ١٦ لفة أو أكثر لامتداد واسع . وتتراوح دقة الأنابيب اللولبية ما بين ± $\frac{١}{٢}$ إلى ± ١ ٪ من امتداد التدريج .

٥ / ٧ / ٢ الأغشية :

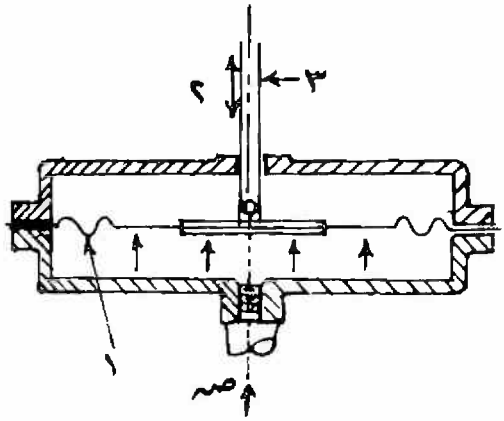
يوجد نوعان من الأغشية أولها الأغشية المعدنية الصلبة أو المنفاخ وثانيها الأغشية الرخوة .

٥ / ٦ / ٢ / ١ الأغشية المعدنية الصلبة :

أبسط أنواع مقاييس الضغط ذى الغشاء (الرق) ، مقياس «سيفر» ، وهو يتكون

من غشاء مموج قطره حوالى ٦٥ مم ومصنوع من الفولاذ الذى لا يصدأ الذى تم تصييده ، ومعالجته حراريا . وهذا الغشاء مثبت بين شفتين ، ويسلط الضغط على جانبه الأسفل فى غرفة خاصة ، وتنقل حركة مركز الغشاء خلال وصلة مكونة من كرة وجلبة ، ووصلة تكبير إلى المؤشر كما فى مقياس بوردون ، والشفة العليا مسطحة لتمنع أية حركة إضافية للغشاء عندما يصل المؤشر إلى نهاية التدريج حتى لا يتحطم الغشاء بضغوط أعلى بدرجة ملموسة من أقصى ضغط مسموح بقياسه .

وعندما يراد استخدام المقياس لموائع مسببة للصدأ ، تصنع الغرفة من مادة مقاومة للصدأ (شكل رقم ٣٩) مثل الصلب الذى لا يصدأ أو «الصلب الطرى المغطى بمادة



الشكل رقم (٣٩)
مقياس ضغط بسيط ذو غشاء
(١) غشاء مموج
(٢) الحركة
(٣) قضيب الدفع إلى وسيلة التكبير داخل علبة الجهاز

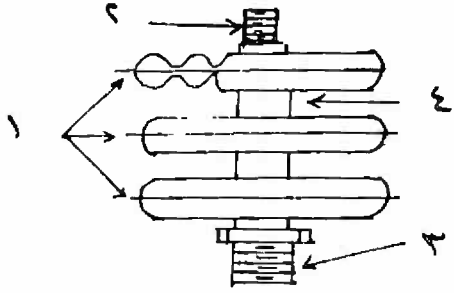
مقاومة للصدأ مثل الرصاص . وبالإضافة إلى ذلك يتم حماية الغشاء بطلائه بطبقة من مادة مناسبة أو بتغطيته بقرص رقيق من الفضة . ويمكن استخدام هذا النوع من المقاييس ، لقياس ضغوط تقل عن الضغط الجوى أو تزيد عليه ، غير أن وقاية أغشية المقاييس بالنسبة للضغوط التى تقل عن الضغط الجوى أكثر صعوبة ، وذلك نظراً لميل الغشاء والطبقة الواقية إلى الانفصال عن بعضها تحت تأثير الضغط المنخفض . ويعطى هذا النوع من مقاييس الضغط بياناً أفضل وأكثر إيجابية عما تعطيه مقاييس بوردون لمدى

الضغوط المنخفضة وبصفة خاصة بالنسبة للمقاييس المدرجة تحت بار واحد كما أنها مناسبة أيضاً لقياس الضغوط المتغيرة .

وبدلاً من الغشاء (العنصر الحساس للضغط) السابق الإشارة إليه فى مقياس «سيفر» فإنه يتم فى بعض الحالات لصق غشاءين معا عند محيطها باللحام بمادة لاحمة أو بالضغط ليكونا كبسولة (الشكل ٤٠)

الشكل رقم (٤٠)
نوعان من الكبسولات

وتستخدم كبسولة أو أكثر لتكوين عنصر حساس للضغط (شكل ٤١) .

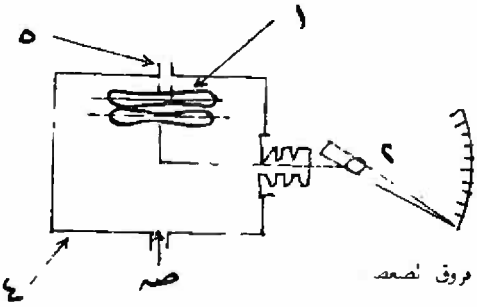


الشكل رقم (٤١)
ثلاث كبسولات مستخدمة معاً لتكوين
العنصر حساس للضغط .
(١) ثلاثة كبسولات
(٢) الطرف الحر
(٣) الطرف الثابت
(٤) فاصلات

وعندما يقاس الضغط المطلق فإنه يتم استخدام كبسولات مفرغة ويوضح شكل (٤٢) كبسولتين مفرغتين ومستخدمتين فى قياس الضغط المطلق ، وهما مزودتان بتوصيلة تبادلية يمكن استخدامها عندما يراد قياس الضغوط الفرقية .

المنفاخ :

يستخدم المنفاخ كعنصر حساس للضغط فى كثير من المقاييس بدلاً من الكبسولات . وقد كانت المنافيخ تنتج لسنوات طويلة ، بسلسلة من عمليات التشكيل



الشكل رقم (٤٢)

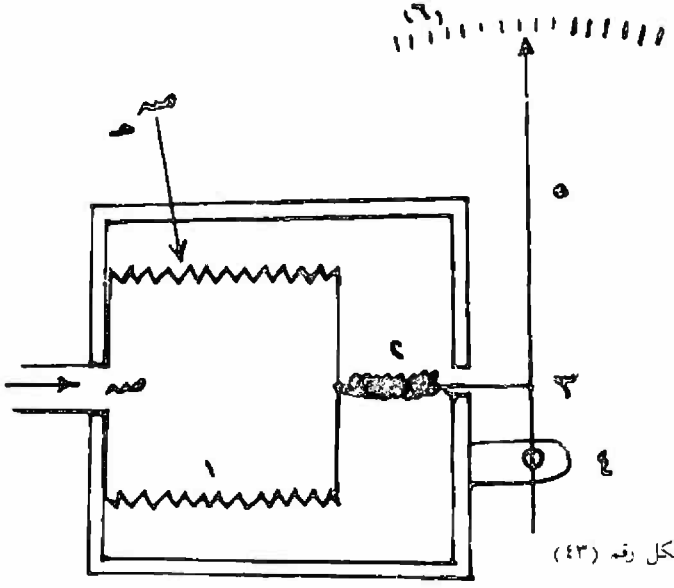
١ كبسولتان مقرعتان
٢ مؤشر
٣ تدريج
٤ محتوى تدخل به الضغط ص
٥ وصلة تبادلية تستخدم عند قياس فروق الضغط

بالرحو أو الدلفنة تتخللها عمليات التخمير (التلدين) فالمعالجة فى حمام حمضى بتنظيف سطح المعدن ثم الغسيل ، غير أن التقدم فى إنتاج السبائك ، ذات التركيب المستمر والمنتظم والخالية من الشوائب ، قد جعل بالإمكان تصنيع المنافيخ بعملية هيدروليكية تتضمن خطوة واحدة ، ويصنع المنفاخ حاليا نتيجة للتقدم المشار إليه بواسطة تشكيل المنفاخ حالياً من أنبوبة محكمة الغلق فى أحد طرفيها ، وواقعة تحت ضغط داخلى لسائل أو غاز داخل قالب قابل للطى . ويتكون القالب من مجموعة من الألواح مساوية فى عددها لعدد ليات المنفاخ ، وتبعد إحداها عن الأخرى بمسافة معينة ثابتة ، وتحيط بالأنبوبة . ويؤدى الضغط الداخلى إلى أن تتسيل الأنبوبة بين الألواح بينما ينطوى القالب باتجاه الطرف . لذلك يتشكل المنفاخ فى عملية واحدة مستمرة .

وتجدر الإشارة إلى أنه حيث إن الضغط الداخلى يكون فى حدود بضع مئات الآلاف بار فإن المنفاخ يتحطم أثناء تشكيله إذا كان بالأنبوبة أية عيوب . وتنتج المنافيخ أشكال متنوعة من النحاس الأصفر والألمبرو (سبيكة تشبه النحاس الأصفر مع إضافة ٢ ٪ ألومنيوم) وهما مادتان مقاومتان للصدأ تجعلان المنافيخ صالحة للاستخدام فى الماء المالح أو ماء البحر .

وتعرف لدانة المنفاخ بأنها التغير فى الطول عندما يسلط عليها ضغط قدره ١ ان / م^{٢} وهذه اللدانة تتناسب طرديا مع عدد ليات المنفاخ ، وعكسيا مع سمك جدارها ومعامل

مرونتها . كما يعرف معامل الانضغاط للمنفاخ بأنه الحمل (بالنيوتن) الذى إذا سلط على المنفاخ عند طرفه الحر فإنه يضغطه بمقدار ١ مم . ويتناسب معامل الانضغاط طرديا مع معامل مرونة مادة المنفاخ ومع مكعب سمك جداره . وعكسياً مع عدد اللبات . ومربع القطر الخارجى للمنفاخ . ولزيادة معامل الانضغاط فى بعض الاستعمالات فيمكن استخدام زنبرك داخل المنفاخ بحيث يضاد القوة التى تعمل على ضغط المنفاخ .



شكل رقم (٤٣)

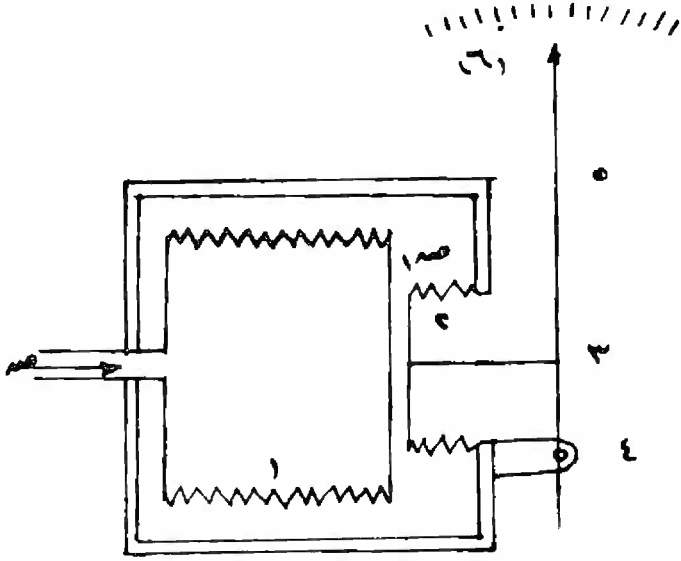
مقطع سيط لمقياس ضغط ذى منفاخ يستخدم لقياس الضغط المنخفض

(١) منفاخ .
(٢) زنبرك .
(٣) وصلة .
(٤) محور إرتكاز .
(٥) مؤشر .
(٦) تدريج .

تطبيقات المنفاخ فى مقاييس الضغط :

عند استخدام منفاخ ذى مساحة كبيرة . وعدد كبير من اللبات . فإن الضغوط المنخفضة جداً تخلق قوى ملموسة ويمكن موازنتها بالفعل الزنبركى للمنفاخ فقط ،

أو باستخدام زنبرك لمعاونة مقاومة المنفاخ . ويمكن بالاختبار المناسب لمادة وعدد لبات المنفاخ ، مع استعمال زنبرك معاير قياس ضغوط صغيرة جداً تتراوح ما بين ٠,٢ إلى ٣٥٠ كيلوباسكال (جزء من أوقية على البوصة المربعة- ٥٠ باوند٪ بوصة مربعة) ويجب ملاحظة أن الضغط الجوى يؤثر على السطح الخارجى للمنفاخ مما يجعله يستجيب فقط للضغوط التى تزيد على الضغط الجوى ويوضح شكل رقم (٤٣) أبسط أنواع المنافيخ وهو فى الحقيقة جهاز لقياس الضغط الفرق .



الشكل رقم (٤٤)

قطاع خلال رسم تخطيطى لقياس الضغط المطلق

(١) منفاخ عامل .

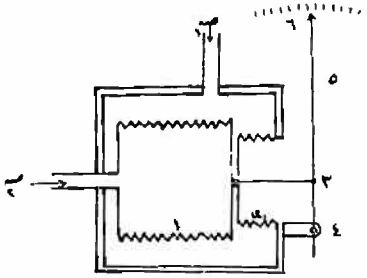
(٢) منفاخ مانع للتسرب .

(٣) وصلة .

(٤) محور إرتكاز .

(٥) مؤشر .

(٦) تدريج .



مقياس ضغط فرق باستخدام منفاخ .
(١) منفاخ عامل
(٢) منفاخ مانع للتسرب
(٣) وصلة
(٤) محور لإرتكاز
(٥) مؤشر
(٦) تدريج

الشكل رقم (٤٥)

مقياس الضغط المطلق ذو المنفاخ :

(شكل ٤٤) إذا كان المطلوب قياس ضغوط صغيرة فإن الضغط الجوى تمثل مشكلة . ولتغلب على هذه المشكلة يمكن وضع المنفاخ داخل محتوى محكم (ضد تسرب الهواء) ومفرغ من الهواء تقريباً ، وفى هذه الحالة فإن المنفاخ سيكون واقعاً تحت تأثير ضغط من الداخل فقط ويستجيب له ويعطى المقياس قيمة الضغط المطلق .

مقياس الضغط الفرقى ذو المنفاخ :

ينحصر اهتمامنا فى حالات كثيرة بقياس الضغط الفرق فقط ويحدث ذلك بصفة مستمرة عندما يراد قياس الضغط لمائع للحصول على معدل تدفقه . ويمكن استعمال لمنفاخ كجهاز لقياس فروق الضغط (الشكل ٤٥) وذلك بتعريضه من الداخل للضغط الأعلى ومن الخارج إلى الضغط الأقل ، وهو فى هذه الحالة سوف يقرأ الفرق بين الضغطين المسلطين . ويجب مراعاة أنه لو تم التأثير بالضغط الأكبر على المنفاخ من الخارج . بينما يؤثر بالضغط على الأقل من الداخل فإن المنفاخ لن يعطى قراءات موجبة .

الغشاء (الرق) الرخو :

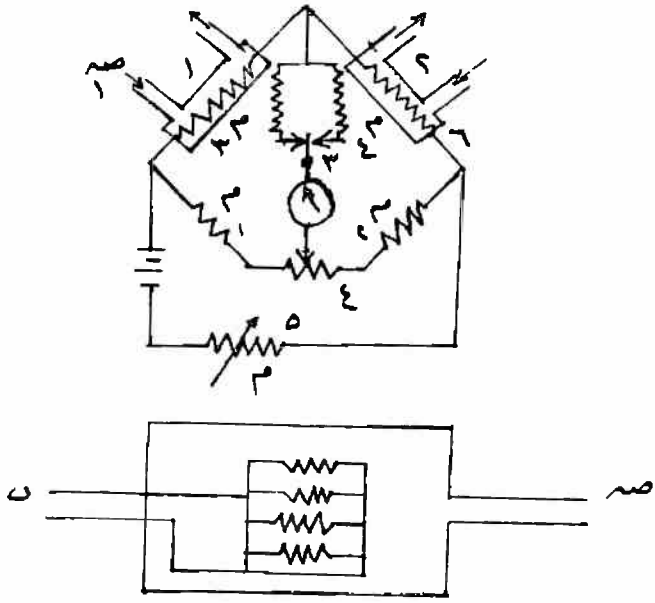
يستخدم هذا النوع من الأغشية كعنصر لقياس مدلول مقياس الضغط ، أو الضغط

الفرق . ويتكون الجزء الأساسى فى المقياس ذى الغشاء المرن من غشاء (رق) قابل للثنى من نوع خاص من الجلد لقياس الضغوط المنخفضة (حتى ٢٠٠ مم ماء مقياس) أو من قماش نايلون مشرب المضغوط العالية . ويستند الغشاء من كلا جانبيه على لوحين من معدن خفيف . والغشاء مرتب بحيث يوجد به ارتخاء ملموس يسمح بالحركة الكاملة لشوط واسع . ويحد شوط الغشاء بوصول الألواح الساندة إلى السكون على مصد ، لكى تكون الألواح مستندة فى وضع زياده التحميل . ومبدأ التشغيل هنا مماثل مبدأ تشغيل المانومتر ذى المكبس حيث يقوم الغشاء هنا بعملية الإحكام (كمانع للتسرب) . لهذا فإن القوة المؤثرة على الغشاء تكون حاصل ضرب المساحة الفعالة للألواح الساندة فى الفرق بين الضغطين المؤثرين على السطحين . وتتأثر المساحة الفعلية للألواح مباشرة بدرجة ارتخاء الغشاء ، غير أنها لا تتجاوز بأية حال من الأحوال ، مساحة الألواح مضافاً إليها نصف الحيز الخلقى بين الألواح والعلبة . وتوجد زنبرك معاير من البريليوم- النحاس مركب بحيث يعمل فى اتجاه مضاد لحركة الغشاء .

٥/٨ طرق أخرى لقياس الضغط :

٥/٨/١ مقياس «بيرانى» :

(شكل رقم ٤٦ ، وهو عبارة عن قنطرة «هويتستون» ذات مصدر قدرة منظم ليزود خلية القياس بخلة تعويض درجة الحرارة بدخل حرارى ثابت . والضغط فى خلية التعويض مخفض إلى حوالى ١ ميكرومتر زئبق وتحت هذه الظروف فإن الطاقة المفقودة بواسطة السلك المسخن سوف تنتقل بالإشعاع أوتفقد على طول أسلاك التوصيل الخاصة بالمدخل . وتستقبل خلية القياس نفس الطاقة ، غير أنها قد تفقد حرارة بالحمل أوالتوصيل بأى غاز موجود بالإضافة إلى طرق فقد الحرارة التى تفقد بها الخلية المرجع . ومادامت طاقة الدخل واحدة لكل من الخليتين . وفى الوقت ذاته ترد خلية القياس بمعدل أكبر ، فإنه بالتالى تنخفض درجة حرارتها أكثر من الخلية المرجع ، ويؤدى ذلك



الشكل رقم (٤٦)

مقياس (بيرني)

(١) حنية قياس توصيل بالضغط المخفض ص .

(٢) حنية مرجع (يمكن تفريغها وإغلاقها بإحكام)

(٣) مفتاح المدى

٤) يونشيو متر معيرة

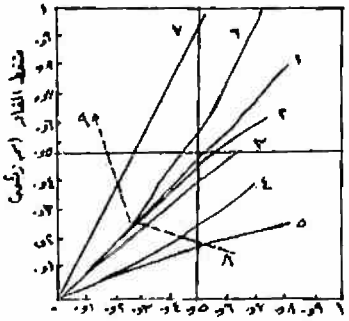
(٥) ريوستات

(٦) فتيلة ساخنة

(ا) تسخين .

(ب) مصدر قدرة ، ص الضغط

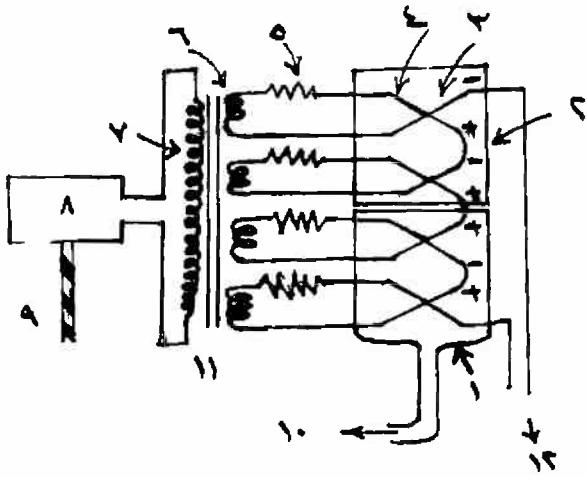
إلى اختلال فى توازن الجهد بقنطرة «هوينستون» ويمكن قياسه بأية طريقة مناسبه ، ويعتمد أداء مقياس بيرانى على نوع الغاز المستخدم (شكل ٤٧)



الشكل رقم (٤٧)

تدريج بالليمتر زئبق (معاير بالنسبة للهواء) .
الاستجابة النسبية للغازات المختلفة فى مقياس بيرانى مقارنة بالنسبة للهواء .

(١) هواء (تستخدم لمعايرة المقياس) .
(٢) بخار ماء .
(٣) هليوم .
(٤) إستيلين .
(٥) هيدروجين .
(٦) ثانى أكسيد الكربون .
(٧) أرجون .
(٨) تأثير تبريد أكبر من الهواء .
(٩) تأثير تبريد أقل من الهواء .



الشكل رقم (٤٨)

مقياس التفريغ ذو المردوجة .

يستخدم مصدر قدرة منظم للمحافظة على الحساسية والكفاءة وعندما يتساوى ضغط كل من خلية القياس والخلية المرجعية تتساوى درجة حرارة الفتائل وحينئذ تتساوى القوة الدافعة فى المردواجات ويكون فرق الجهد صفراً .

(١) خلية القياس .

(٢) الخلية المرجعية .

(٣) ازدواجات .

(٤) فتائل .

(٥) مقاومات معايرة .

(٦) ملفات ثانوية .

(٧) ملف ابتدائى .

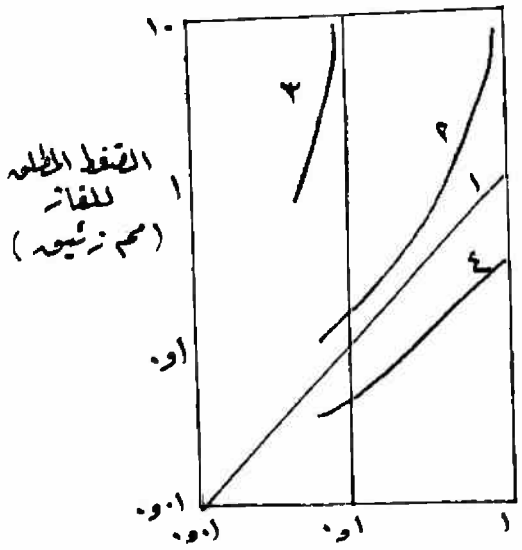
(٨) منظم جهد .

(٩) خط الجهد .

(١٠) توصيلة الضغط المقيس .

(١١) محول .

(١٢) توصيلتانللمقياس الجهد .



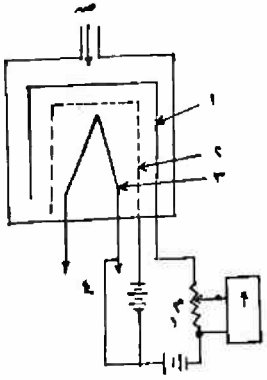
الشكل رقم (٤٩)

قراءات مقياس التفريغ ذو المردوحة (معاير بالنسبة للهواء الجاف).

التصميمات الواجب إدخالها عند استعمال غاز لمد الهواء فى مقياس الضغط ذو المردوحة.

(١) هواء. (٣) زيتون.

(٢) أرجون. (٤) هيدروجين.



الشكل رقم (٥٠)

مقياس التفريغ بالتأين.

(١) لوح (- ٢٠ فولت).

(٢) شبكة (+ ١٥٠ فولت).

(٣) فتيل تسخين.

٤، مصدر قدرة منظم ض: ضغط منخفض.

٥ ٨ ٢ مقياس التفريغ ذو المزدوجة الحرارية :

يوجد تشابه كبير بين هذا المقياس ، وبين مقياس بيرانى فالتركيب والمدى والامتداد للضغوط التى يمكن قياسها لكل منهما واحد . إذ يتكون مقياس التفريغ شكل رقم (٤٨) من خليتين متماثلتين تماماً . يوجد بكل منهما مقاومة تسخن كهربياً وتفرغ إحدى الخليتين وتتخذ كمرجع . أما الأخرى وهى التى يوصل بها الضغط المطلوب قياسه فتسمى خلية القياس . ووجود غاز بخلية القياس يبرد المقاومة بها إلى درجة أقل من درجة حرارة المقاومة الموجودة بالخلية المرجع وتوصل مزدوجة حرارية بالنقطة الوسطى للمقاومة بالخلية المرجع وأخرى لمقاومة خلية القياس . وهاتان المزدوجتان تعطيان قوة دافعة كهربائية تتناسب مع فرق درجة الحرارة بين وصلتيهما . فإذا وضعت الوصلات المرجعية للمزدوجتين فى درجة حرارة واحدة ، وصلت المزدوجتان على التوالى ولكن متعاكستين . فإن القوة الدافعة الكهربائية الناتجة سوف تكون انعكاساً للفرق فى درجتى حرارتى الوصلات الساخنة ويوضح الشكل رقم (٤٩) التصحيحات الواجب إدخالها عند قياس ضغط غاز غير الهواء .

٥ ٨ ٣/ مقياس التفريغ بالتأين بواسطة فتيلة ساخنة :

يتكون هذا المقياس من خلية بها ثلاث إلكترودات هى كاثود أرمولى يعطى دفقاً غزيراً من الالكترونات عند ارتفاع حرارته ، وشبكة ، ولوح ويوضح الشكل رقم (٥٠) مقياس التفريغ بالتأين (الفتيلة الساخنة) ويحافظ على جهد الشبكة عند +١٥٠ فولت وجهد اللوح عند جهد سالب مقداره ٢٥ فولت على وجه التقريب .

ويؤدى جهد الشبكة المرتفع والعالى أيضاً إلى تسارع الإلكترونات بعيداً عن الكاثود ، بعض هذه الالكترونات يستطيع المرور عبر الشبكة ويصدم قسم منها أثناء حركتها بعض جزيئات الغاز التى قد تكون موجوده فإذا كانت طاقتها كافية فإن جزئيات الغاز تنقسم إلى جسيمات موجبة وأخرى سالبة الشحنة وتنجذب الجسيمات الموجبة نحو

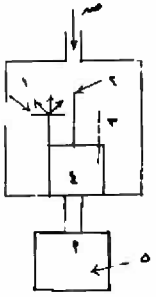
اللوح فتعطى تياراً يمكن كشفه وتؤثر درجة الحرارة العالية للكاثود إلى تحلل الغاز الذى يقاس ضغطه وبالتالى فإن الضغط المبين يعتمد على تركيب الغاز .

٥ / ٨ / ٤ مقياس التفريغ بالتأين بواسطة مصدر مشع :

ينشأ عن درجة الحرارة العالية التى يعطى بها الكاثود (الفتيلة) دفقاً كافياً من الإلكترونات عدد من مشاكل التشغيل بالنسبة لمقياس التفريغ ذى الفتيلة الساخنة . ذلك أن الكاثود يتأكسد إذا وجد فى الخلية قدر ملموس من الأوكسجين . كما أن الغازات التى تكون موجودة قد تهاجم الكاثود أو تتفاعل معه تفاعلات غير مرغوبة وأيضا فإن الغازات التى تتحلل قد تتفكك هذه المشاكل أدت الى وضع مصدر مشع داخل خلية الضغط تحتوى على مجمع وتقوم الجسيمات المشعة بتأين الغاز . بنفس الطريقة التى تؤين بها الإلكترونات السريعة جزيئات الغاز فى المقياس ذى الفتيلة الساخنة السابق (بند ٥ / ٧ / ٣) .

وفى مقياس التفريغ بالتأين الناتج عن جسيمات ألفا (شكل رقم ٥١) تكون الطاقة المتاحة

الشكل رقم (٥١)



مقياس الضغط بواسطة التأين بأشعة α ولا يستخدم فتيل فى هذا المقياس مما يتيح إمكانية قياس ضغوط أكبر مما يمكن قياسه بمقياس الضغط ذو الفتيل الساخن غير أن ذلك يكون على حساب حساسية الجهاز .

(١) باعث جسيمات ألفا

(٢) الكترود نصف محجب

(٣) مجمع

(٤) مصمم الدخل .

(٥) مصمم تيار مباشر . ض الضغط المقيس

من هذه الجسيمات أقل كثيراً مما يتاح بالإلكترونات فى المقياس ذى الفتيل الساخن وبالتالى فإن حساسية الأخير تكون أفضل من حساسية مقياس التفريغ بالتأين بواسطة مصدر مشع لجسيمات ألفا ، غير أن مقياس التفريغ بالتأين بواسطة جسيمات ألفا لا يتلف ، فليس به فتل يتأكسد . ويمكن لهذا المقياس تتبع انخفاضات الضغط السريعة بدقة أكبر .

٥/٨/٥ مقياس الضغط الكهربائى الإجهادى :

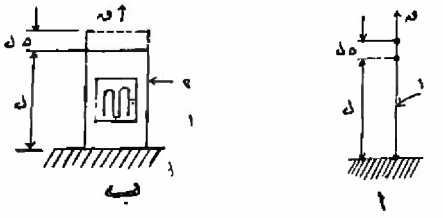
تتكون هذا المقياس أساساً من بلورة كوارتز موضوعة بين لوحين وعندما يعرض اللوحان للضغط تنشأ قوة دافعة كهربائية بينهما وتتخذ هذه القوة الدافعة الكهربائية مقياساً للضغط . لذلك تستخدم وسائل مناسبة لقياس القوة الدافعة الكهربائية ومنها يعرف الضغط المسلط ، وهذا المقياس يناسب بصفة خاصة قياس الضغط الذى تتغير قيمته كثيراً بين لحظة وأخرى ، كما فى حالة قياس الضغط فى عمليات التفاعلات الكيميائية ، أوفى ماكينات الاحتراق الداخلى .

٦/٨/٥ طريقة مقياس الانفعال بتغير المقاومة :

يعرف الانفعال بأنه تغير فى الشكل ، أو تشوه فى ماده نتيجة تسليط قوة عليها . ومقياس الانفعال هو وسيلة تستخدم تغير المقاومة لسلك تحت الانفعال فى قياس الضغط ، ويقوم مقياس الانفعال بتغيير الحركة الميكانيكية إلى إشارة كهربائية عندما يتغير طول سلك ، بالشد أو الضغط ، وبالتالى يتغير قطره ، مما يؤدى إلى تغيير المقاومة ، ويتخذ تغيير المقاومة مقياساً للضغط المسبب للتشوه الميكانيكى .

وتشمل وسيلة قياس الضغط الكاملة عنصراً حساساً للضغط مثل أنبوبة « بوردون » أومنفاخاً أو غشاء ومقياساً للانفعال متصلاً بهذا العنصر ، ومصدر قدرة ثابتة وأداة بيان . ويوضح الشكل رقم (٥٢) النوعين العامين من مقاييس الانفعال اللذين تم

تطويرهما منذ اختراع مقياس الانفعال ويسمى أحدهما للقياس الملتصق والآخر غير الملتصق . وتتكون مقياس الانفعال غير الملتصق من سلك حساس للانفعال ذو طرف مثبت بالعنصر المطلوب قياس انفعاله أو تمدده ، أما الطرف الثانى له فهو قابل للتحرك مع هذا العنصر ، حيث إن القوة المطلوبة فى مقياس الانفعال غير الملتصق صغيرة نسبياً فإنه أمكن صناعة عناصر حساسة صغيرة المدى والحجم تجمع فى الوقت ذاته بين ميزتى الوقاية من التحميل الزائد والتخميد .



الشكل رقم (٥٢)

نوعان من مقاييس الانفعال .

(ا) مقياس الانفعال من النوع غير الملتصق

(ب) مقياس الانفعال من النوع الملتصق .

فى النوع الملتصق يلتصق سلك العنصر الذى يستطيل بينما النوع غير الملتصق يكون السلك مثبتاً من طرف واحد فقط ويتمدد عندما يستطيل الجزء الذى يقاس انفعاله .

(١) سلك الانفعال .

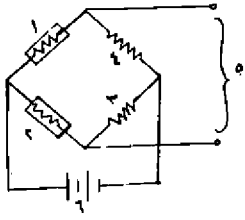
(٢) جزء معدنى .

ويتكون مقياس الانفعال الملتصق من سلك أو رقيقة حساسة للانفعال وملتصق بالعنصر الذى يتطلب قياس تمدده أوانفعاله وهذا النوع يناسب قياسات الشد فقط ويتم العزل الكهربائى بواسطة مادة لاصقة أوعازلة توضع على مقياس الانفعال .

والقوة اللازمة لإحداث انفعال يمكن قياسه كبيرة نسبياً . وذلك بسبب زيادة جساءتها ويعمل المقياس الملتصق تحت الشد أو الانضغاط أو الثنى ، ويتم القياس بنقل الانفعال من العنصر المعدنى خلال المادة اللاصقة ومادة الظهر إلى مقياس الانفعال . وتتحدد دقة القياس بخصائص كل من المادة اللاصقة ومادة الظهر لأنهما تقعان فى طريق القوة المسلطة وتكون المواد اللاصقة ومواد الظهر من نوع « أبوكس » .

وتستخدم الأسلاك والرقائق المعدنية والسبائكية فى صناعة مقاييس الانفعال القياسية . وقد أمكن منذ عدة سنوات استخدام المواد نصف الموصلة (أشباه الموصلات) مثل السليكون فى صنع مقاييس الانفعال ، وهى تتميز على الم د الموصلة بأن نسبة التغير فى المقاومة إلى المقاومة الأصلية للعنصر تكون أكبر ، كما أمكن حديثاً استخدام الأغشية فى مقياس الانفعال . ويتم إعداد هذه الأغشية بالترسيب تحت تفريغ عال بأساليب فنية مماثلة لتلك المتبعة فى عمل الدوائر الكهربائية للتليفزيون وغيرها .

وأياً كان نوع مقاييس الانفعال المستخدم فإنها تستعمل للقياس عن طريق إدخالها فى قنطرة هويتستون كما بالشكل رقم (٥٣) عندما يسلط الضغط المطلوب قياسه فإن



الشكل رقم (٥٣)

مقياس إنفعال مستخدم فى دائرة قنطرة هويتستون .

(١) مقياس الانفعال .

(٢) معوض درجة الحرارة .

(٣،٤) مقاوماته .

(٥) المخرج .

(٦) مصدر قدرة .

مقاومة مقياس الانفعال تتغير نتيجة تغير شكل العنصر الحساس به سواء كان سلكاً أو رقيقة أو غشاء ، وبالتالى يتغير جهد الخروج من القنطرة غير أن هذا الجهد لا يمكن قياسه بواسطة فلطمتر عادى ، لهذا يتم تكبير الجهد حتى يحرك مؤشر الجهاز المستقبل له . وعند استخدام مقاييس الانفعال فإنه يكون ضرورياً . فى معظم الأحوال ، تعويض التغير فى درجة الحرارة لأن مقياس الانفعال والمادة اللاصقة يتمددان أو ينكمشان مع تغير درجة الحرارة ويتم التعويض بواسطة مقاومات تعويض تدخل فى دائرة قنطرة هويتسون المستخدمة فى القياس . وفى العادة تتراوح مقاومة دائرة محول الانفعال . باستثناء النوع ذى الغشاء ، ما بين ١٠٠ ، ٥٠٠ أوم . وتستخدم قدرة مترددة أو مستمرة ويكون جهد الخرج حوالى ١-٣ ملى فولت لكل فولت من الدخل .

وتتراوح دقة مقاييس الانفعال بصفة عامة بين ± ٠.١ ٪ إلى ±٢ ٪ من التدريج الكامل وتعتمد الدقة على المواد المستخدمة والتصميم ، ويتراوح مدى القياس لها بين حوالى ١ كيلو بسكال إلى ١٤٠٠٠٠ كيلو بسكال (١ كيلو بسكال = ٦.٨٩٤٨ باوند قوة لكل بوصة مربعة)

٩/٥ ملاحظات خاصة بتركيب واستعمال أجهزة قياس الضغط :

١ يوصى باستعمال أنابيب وملحقات ضغط نحاسية ، قابلة للانثناء فى معظم التركيبات وبصفة خاصة للضغوط المنخفضة والتفريغ العالى عندما لا يمكن تحمل حدوث أى تسرب فى خطوط أو توصيلات مقياس الضغط . ويجب أن يكون خطوط الضغط مناسبة لتحمل الضغط المقاس وكذلك الصدأ الناتج عن مادة الوسط الذى يقاس ضغطه .

٢ تتأثر سرعة استجابة مقاييس الضغط بمقاس أنابيب القياس من الداخل وكذلك أطوالها ، لذا يجب دراسة مقاسات الأنابيب والأطوال المناسبة لكل تطبيق على حدة وبصفة خاصة فى التطبيقات التى تستخدم فيها أجهزة للتحكم فى الضغط . أو

مقاييس للتفريغ والضغوط المنخفضة حتى يتم تجنب الاستجابة البطيئة.

٣ -- يوصى بتركيب محبس شكل T فى خط الأنابيب قريباً من مقياس الضغط لأنه يسمح بنزع المقياس لاختباره أو استبداله بآخر دون حاجة لإيقاف العملية الصناعية التى يقاس الضغط بها.

٤ - ينتج عن مرور الضغوط النابضة فى خطوط المقياس أن تعطى الحركة الثابتة المريشة أو المؤشر إشارة غير مقروءة، وقد ينسكب الحبر إذا كانت البضات عنيفة وربما يتلف العنصر الحساس للضغط قبل الأوان.

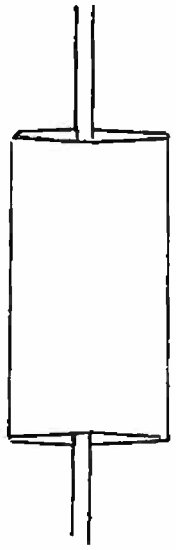
ويمكن تخميد البضات أو تقليلها بإدخال اختناقات (أى مقاومات) لزيادة سعة خط الأنابيب، وأبسط أنواع وسائل تخميد البضات عبارة عن صمام إبرى يتم تركيبه فى خط أنابيب المقياس على بعد حوالى متر من المقياس. ويجب مراعاة إغلاق هذا الصمام الإبرى ببطء حتى يبين المؤشر أو الريشة ضغطاً ثابتاً ويستجيب فى الوقت ذاته لأية تغييرات ملموسة فى الضغط. وإذا لم تكن سعة الخط كافية فيمكن أيضاً تركيب خزان (عبارة عن أنبوبة ذات قطر أكبر مزود بغطاءين) كما هو موضح بالشكل رقم (٥٤). وتجب مراعاة أن إدخال صمامات إبرية فى الخط لا يكون حسبما اتفق، ولكن باحتياطات خاصة لضمان أن القراءات التى يعطيها الجهاز هى فعلاً القيم الصحيحة للضغط المقيس:

٥ - إذا كانت المادة التى يقاس ضغطها مسببة للصدأ فإنه يجب عزلها عن المقياس إلا إذا كان مصنوعاً من مواد لا تصدأ، ويمكن عزل مادة الوسط عن المقياس بإحدى الطرق التالية:

(أ) مانعات التسرب السائلية:

يملأ مقياس الضغط وخط الأنابيب الموصل به بسائل خامل يظل فى مكانه، يمنع من الاختلاط بالوسط المسبب للصدأ باستخدام مانع للتسرب، ويختار السائل المانع

للتسرب مع الأخذ فى الاعتبار أن يكون مقاوماً للاندماج الكيميائى مع وسط الضغط وكذلك مقاوماً للاندماج الفيزيائى معه فلا يذوب فيه أو يحدث إلغـام بينهما وأن يكون الوزن النوعى مناسباً بحيث يبقيه منفصلا عن وسط الضغط فى درجات الحرارة المختلفة كما تكون خصائصه الفزيائية الأخرى مثل اللزوجة وضغط بخاره ونقطة تجمده مناسبة . ويجوز أن يكون السائل المانع للتسرب أخف أو أثقل من وسط الضغط .



شكل رقم (٥٤)
خزان يستخدم لزيادة سعة خط الأنابيب

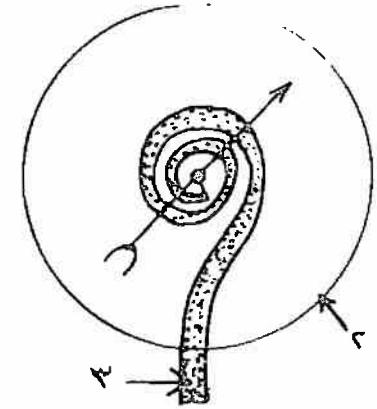
ويشمل الجدول رقم (٧) بعض أوساط الضغط والسوائل المانعة للتسرب المقترحة لكل منها :

الجدول رقم (٧)

وسط الضغط	مانعات التسرب المناسبة
حمض خليك (حتى ٥٠ ٪)	كيروسين ، زئبق (تفاعل بطيء جدًا)
أسيتون	محلول ٤ ٪ كلوريد كالسيوم
أمونيا	زئبق ، زيت معدنى نقى خفيف
بنزول	محلول كلوريد الكالسيوم (٤٠ ٪)
زيت وقود	محلول كلوريد الكالسيوم (٥٠ ٪) جلسرين وماء
صودا كاوية	كيروسين ، زيت معدنى نقى
غاز كلور	غشاء مانع للتسرب – فضة أو تنتاليوم ، نظام تظهير
حمض هيدروكلوريك	غشاء فضة ، بيروكلوريثيلين كمفردة فى غشاء مزدوج
حمض لاكتيك	كيروسين
حمض فسفوريك	زيت معدنى بالنسبة للمحاليل المخففة من الحمض
حمض كبريتيك	زيت معدنى نقى

(ب) مانع التسرب الكبسولى :

يمكن تزويد المقياس بمجموعة مانعة للتسرب تحتوى على غشاء خامل يبقى السائل فى المقياس ويمنع وسط الضغط من ملامسته وتوضح الأشكال أرقام ٥٥ ، ٥٦ ، ٥٧ .



الشكل رقم (٥٥)

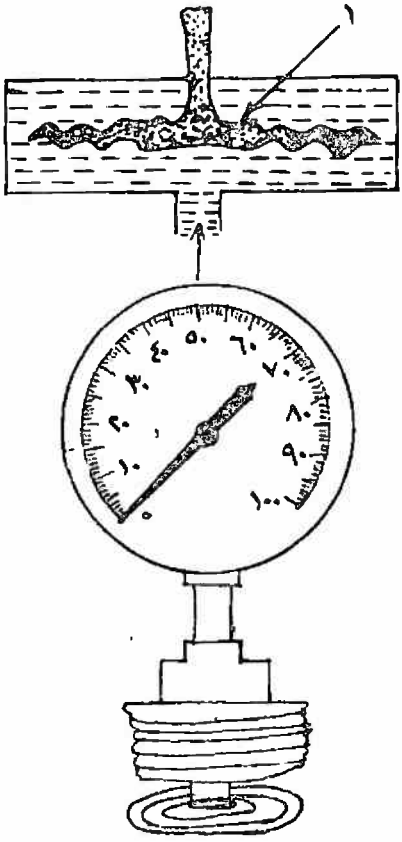
مانع تسرب كسولى

(١) كسولة

(٢) جهاز القياس

(٣) أنبوبة شعرية

من الضغط المقيس

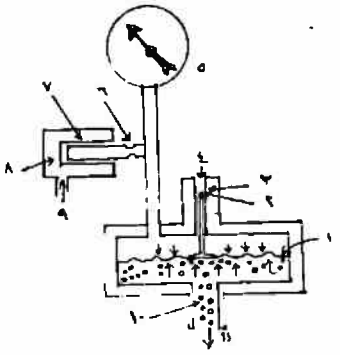


الشكل رقم (٥٦)

مانع تسرب يحصر (يحد) السائل

داخل العنصر الحساس للجهاز

ثلاثة أنواع مختلفة من مانعات التسرب موازنات القوى إحداها بيوماتى (شكل ٥٧)



الشكل رقم (٥٧)

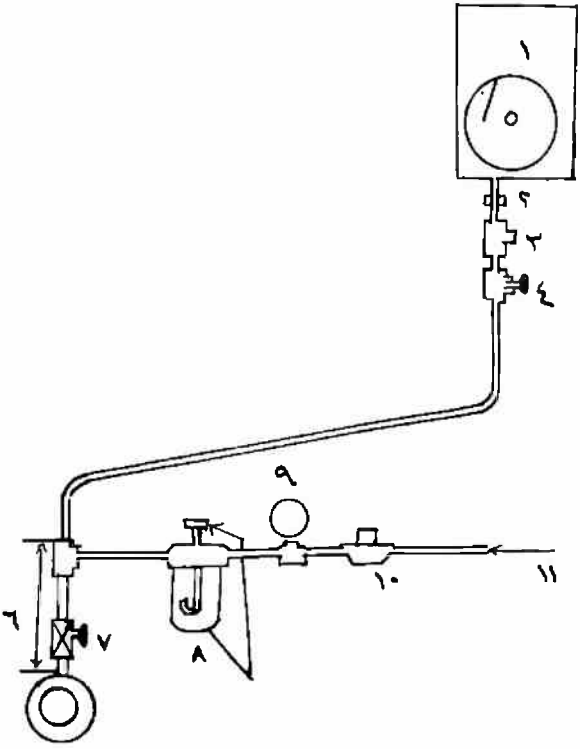
مانع تسرب بيوماتى.

(١) كبسولة.
(٢) كرة الصمام.
(٣) فتحة الصمام.
(٤) الضغط الجوى.
(٥) مقياس الضغط.
(٦) فتحة.
(٧) مرشح.
(٨) هواء
(٩) مدخل الهواء.
(١٠) المائع الذى يقاس ضغطه.
(١١) توصله إلى الضغط المقيس.

والآخران هيدروليكيان. ويراعى تنظيف مانع التسرب من وقت لآخر أثناء الاستخدام حتى لا تترسب طبقة من المواد المستخدمة فتقلل الضغط المؤثر على مانع التسرب.

(جـ) نظم التطهير :

يمكن إخراج المواد الجامدة أو اللزجة أو الندفة (الزغبة) من مقياس الضغط ومن خط الأنابيب بواسطة نظام تطهير يعمل بسائل أو غاز الشكل رقم (٥٨). ولكن يجب التأكد مما يلى :



الشكل رقم (٥٨) نظام تطهير بالماء أو الهواء .

يمكن استخدامه لاخراج وسط الضغط الأكال أو الذى يتحمد أو يحتوى على مواد حامدة .

(١) مقياس الضغط .

(٢) وصلة رباط

(٣) وصلة(T) وصمام .

(٤) محبس المقياس .

(٥) خط أنابيب المقياس ويكون مائلاً .

(٦) البعد الموضح يكون أصغر ما يمكن .

(٧) صمام إغلاق بوابى من مادة مضاده التآكل . أقصى ضغط مطلوب قياسه .

(٨) صمام إبرى وإناء فقاعات يضبط لإعطاء ٦٠ فقاعة كل دقيقة عند أقصى ضغط فى الوعاء الذى يقاس ضغطه .

(٩) مقياس ضغط مداه ٢٠٠٪ على الأقل من أقصى ضغط مطلوب قياسه .

(١٠) صمام تحقيص يضبط على ٢٠٠٪ أو أكثر من

– إن مائع التطهير لا يتحد بدرجة غير مناسبة فيزيائيًا أو كيميائيًا مع وسط الضغط ، وأنه أيضاً لا يخفف وسط الضغط بالقدر غير المناسب . ويجب أن يكون بإمكان نظام التطهير إخراج الغاز أو الهواء المستخدم كمائع تطهير إلى الجو وإلا فإن العملية سوف تمتلئ بالهواء أو الغاز .

وأكثر الموانع استخداماً الهواء والماء . وبصفة عامة يستخدم الماء فقط عندما يكون وسط الضغط محلولا يتدفق بكمية كبيرة لدرجة أن ماء التطهير لا يخففه إلا بقدر طفيف يمكن إهماله ، والتطبيقات الصناعية التى يجرى فيها ذلك كثيرة كما فى صناعة الورق .

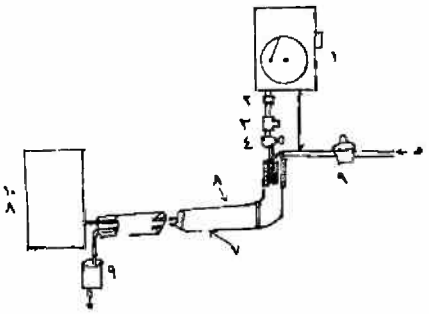
٥ – يمكن توصيل مقاييس الضغط وخطوطه ووصلات العلب المحتوية على أجزاء من الصلب الكربونى مباشرة بالأمونيا دون استعمال مانعات التسرب وذلك لأن الصلب لا يصدأ بغاز أو سائل الأمونيا .

٦ – الإلغام بالزئبق :

حيث إن الزئبق يلغم النحاس بنوعيه الأصفر والأحمر ولحام الفضة وغيرها . وهذا الإلغام يؤدى إلى تلف الأجزاء المحتوية على هذه المعادن ، لذلك يجب العناية بمنع دخول الزئبق أو بخاره دون قصد فى أى جزء من أجزاء المقياس إلا إذا كانت مصنوعة من مواد حديدية مجمعة باللحام كليًا . ويجب ملاحظة أنه فى ظل ظروف كثيرة فإن الهواء المحبوس فى العنصر الحساس لمقياس الضغط يمنع أى سائل أو بخار من دخول المقياس .

٧ - الموائع اللزجة أو المتجمدة :

يجب استبعاد الموائع ، التى يتغلظ قوامها أو تتجمد عند تركها ساكنة أو عند تبريدها ، من مقاييس الضغط وخطوطه . وإذا استدعى الأمر استعمالها فى مقاييس الضغط فإنه يجب المحافظة على إبقائها فى حالة سيولة دائمة عن طريق تسخين خطوط الأنابيب الواصلة للمقياس بواسطة سلك تسخين أو بإمرار بخار ماء ساخن حولها (الشكل رقم ٥٩) .



(١) مقياس الضغط .
(٢) وصلة ربط .
(٣) وصلة على شكل T ، صمام .
(٤) محبس .
(٥) بخار أو ماء ساخن .
(٦) صمام تخفيض .
(٧) خط الأنابيب مائل فى هذه المنطقة
(٨) أسوبة تعطى خط الأنابيب وأسوبة التسخين
(٩) مصيدة بخار .
(١٠) وعاء

الشكل رقم (٥٩)

استخدام التسخين (بالبخار) لمنع تجمد وسط الضغط

٨ – درجات حرارة محيطة منخفضة حتى التجمد :

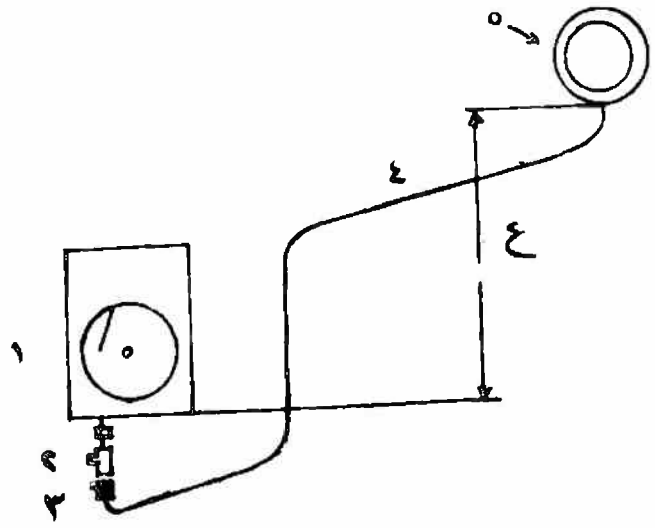
عندما يتطلب قياس ضغط سائل قابل للتجمد أو غاز حامل به قدر من الرطوبة قابل للتكثف ، فى أماكن باردة أو فى الخلاء حيث تنخفض درجة الحرارة حتى التجمد فإنه يكون من الضرورى وقاية المقاييس والأنابيب من التجمد .

٩ – وقاية المقياس من التحميل الزائد :

يراعى عدم استخدام الجهاز لقياس ضغوط تزيد على مداه إلا إذا كان مزوداً بما يقيه من التلف . وحتى لو استخدم الجهاز فى قياس ضغوط تزيد على مداه وكان مزوداً بما يقيه فإنه قد يحدث للعنصر الحساس أو إحدى الوصلات تشوه دائم وفى هذه الحالة يحتاج الجهاز إلى إعادة المعايرة .

١٠ – قياس ضغط غاز وهواء وسائل :

عند تركيب خطوط أنابيب مقياس الضغط لقياس ضغط هواء وغاز يجب اتخاذ إجراءات التصريف والتنفيس لأى متكثف (انظر الشكل رقم ٦٠) ولاحظ كيفية توصيل خطوط المقياس بالخط الرئيسى أو الخزان .



الشكل رقم (٦٠)

تركيب مقياس الضغط عند وضعه أسفل المبيع .

(١) مقياس الضغط .

(٢) وصلة شكل T وصمام .

(٣) محبس .

(٤) خط المقياس مائل لتفيس الغازات .

(٥) المبيع .

ملاحظة : يراعى دائماً توصيل الخط بأدنى نقطة بالمبيع أو الخزان وذلك حتى تظل الخط مملوءاً بالمكثف .

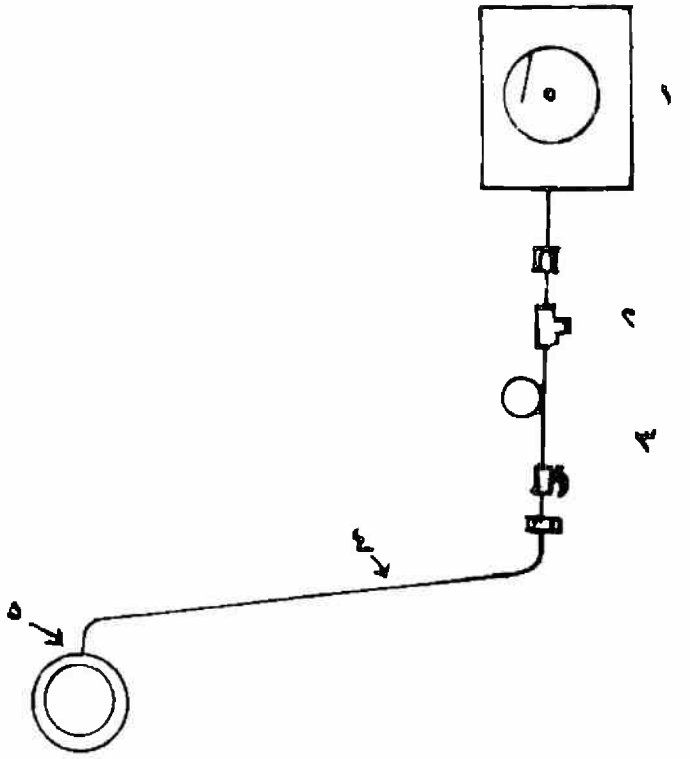
١١ – قياس ضغط غازات ساخنة (أو بخار ماء) قابلة للتكثف :

يجب بصفة عامة ألا تزيد درجة حرارة الموائع الداخلة إلى مقاييس الضغط على ٦٥°م .

ا – المقياس فى مستوى أسفل من مستوى التوصيلة : يجب فى هذه الحالة ملاحظة أن خط الضغط الموصل إلى المقياس سوف يمتلئ ببخار ماء متكثف ، ومعنى ذلك أن

بيان المقياس عبارة عن مجموع ضغط البخار ، وعمود ماء إرتفاعه مساو لارتفاع التوصيلة عن المقياس ، ولهذا يجب عمل تصحيح لقراءة المقياس يساوى عمود الماء المشار إليه . ويفضل ملء الخطوط بالماء لضمان عدم حدوث تسخين زائد قبل تكون القدر الكافى من بخار الماء المتكثف .

وإذا كان المقياس فى مستوى أعلى من مستوى التوصيلة الشكل رقم (٦١) عند



الشكل رقم (٦١)

تركيب المقياس عند وضعه أعلى من المنبع .

(١) مقياس ضغط .

(٢) وصلة شكل T وصمام .

(٣) محبس برافعة ما خلفه .

(٤) خط المقياس مائل لتصريف المتكثف ناحية المنبع .

(٥) منبع .

تركيب مقياس الضغط أعلى من خط البخار فيجب تركيب مانع للتسرب على شكل ملف أنبوبى فى الخط ويجب صب ماء كاف عن طريق صمام الملء بحيث يمتلىء الملف قبل السماح للبخار بالمرور إلى الأنابيب ويراعى أن يكون قطر الأنابيب مناسباً (أكبر من ١٣ مم) ويراعى أيضاً تجنب وجود نقط منخفضة فى الخط بالدرجة التى قد تشكل معها مصيدة لبخار متكثف فتخلق خطأ فى عمود الماء المأخوذ فى الإعتبار عند تصحيح القراءات .

١٢ - يجب تركيب محبس ذى اتجاهين على خط الأنابيب قبل المقياس مباشرة وهذا يجعل من الممكن إخراج المقياس لإستبداله أو اختباره دون حاجة لإغلاق المجموعة .

١٣ - إذا كان مقياس الضغط يحتوى على أجزاء كهربائية ، وكان القياس يجرى فى وسط قد توجد به غازات قابلة للتفجر فى أى وقت ، فإنه يجب تطهير المقياس من الهواء . ويتم ذلك بإدخال تيار مستمر من الهواء النظيف بحيث يكون الضغط داخل علبة المقياس أكبر قليلاً من الضغط المحيط ، وهذا يمنع دخول العناصر المؤكسدة أو المتفجرة .

١٤- مقاييس الضغط والتفريغ :

يجب عدم السماح لوسيط الضغط المسبب للصدأ أو الذى يتحمد ، بالدخول فى خط أنابيب المقياس أو فى المقياس ذاته عند إزالة التفريغ والتأثير بالضغط .

١٥ معايرة أجهزة قياس الضغط :

تعاير أجهزة قياس الضغط بالمقارنة مع مانومتر سائل دقيق أو بواسطة جهاز اختبار الضغط ذى الحمل المباشر . ويستخدم المانومتر السائل بصفة خاصة للضغوط المنخفضة . أما جهاز اختبار الضغط ذو الحمل المباشر فهو يستخدم فى معايرة أجهزة القياس ذات المدى الأعلى مما يمكن معايرته بواسطة المانومتر السائل .