

الباب الثالث

مقاييس الانفعال

(STRAN GAGES)

مقدمة

أولا — المقاييس الميكانيكية للانفعال

١ — المقاييس ذات الأذرع

— المقاييس ذات الترس والقرص المدرج

— المقاييس ذات الذراع والترس

ثانيا — المقاييس الصوتية للانفعال

ثالثا — المقاييس الكهربية للانفعال

١ — مقاييس الانفعال باستخدام المحاثة الكهربية

ب — مقاييس الانفعال باستخدام السعة الكهربية

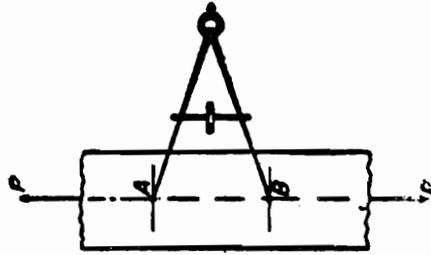
ج — مقاييس الانفعال باستخدام المقاومة الكهربية

١ — المقياس غير المتناسك مع الجسم المختبر

٢ — المقياس السلبي المتناسك مع الجسم المختبر

مقدمة

مقاييس الانفعال هي الأجهزة المستخدمة في قياس التشكل الطولي (Linear Deformation) وذلك لطول قياس (Gage Length) معين أثناء تحميل المنشأ أو المسكنة أو عينة الاختبار (شكل رقم ٣ - ١) ويمكن من ذلك حساب مقدار الانفعال الحادث في طول القياس كما يلي :



شكل رقم (٣ - ١) طول قياس A-B

الانفعال = (التشكل الطولي ÷ طول القياس) . ويكون الانفعال بالشد أو الضغط تبعاً لحالة التشكل في طول القياس إن كانت بالزيادة أو النقصان على التوالي .

وتوجد أنواع متعددة من هذه المقاييس ، منها المقاييس الميكانيكية والمقاييس الضوئية كما أن من أجهزة قياس الانفعال ما يحدد قيمة الانفعال مباشرة مثل مقاييس المقاومة الكهربائية . كما يمكن قياس الانفعال بتغطية سطح الجسم المختبر بطبقة طلاء من مادة صلبة (Brittle Lacquer Coating) ويعبر عن الانفعال مدى وكيفية الشروخ الحادثة بمادة الطلاء نتيجة التحميل وتسمى طلية الإجهاد (Stress Coat) كما أنه يمكن قياس الانفعال بلصق قطع معينة من مادة البلاستيك الخاص بالمرونة التصويرية (Birefringent Coatings - Photoelastic Strain Gages) وذلك على السطح المراد قياس الانفعال به ، وعند تحميل الجسم وتوجيه ضوء على تلك المادة الملتصقة واستخدام نظريات المرونة التصويرية يمكن حساب مقدار الانفعال .

أولاً — المقاييس الميكانيكية للانفعال

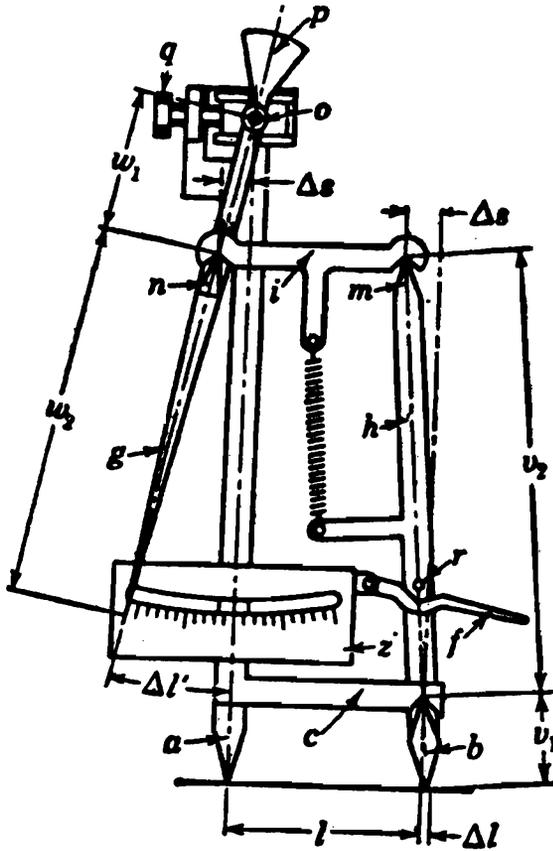
(MECHANICAL STRAIN GAGES)

تلخص نظرية عمل هذه الأجهزة في أنها تقوم بتكبير التشكل الحادث وذلك ميكانيكياً عن طريق مجموعة من الأذرع (Levers) والتروس (Gears) . ويلاحظ أن التشكل الطولي في المنشآت والمسكنات وعينات الاختبار صغير جداً وخصوصاً تحت تأثير التحميل المرن ولا يمكن قياسه بالأجهزة المعتادة وإنما لابد من تكبيره حتى يمكن تحديد قيمته . وتستخدم مقاييس الانفعال الميكانيكية على نطاق واسع في الاختبارات المختلفة ، وتعتبر أكثر مناسبة في بعض الحالات . ومن مزايا هذه الأجهزة أنها ذات اكفاء ذاتي أي لا تتطلب أي أجهزة مساعدة . كما أنه من السهل بيان النتائج على مقياس مدرج أو على قرص مدرج حيث تقرأ بوضوح وبساطة . وهذه الأجهزة متينة وتعتبر رخيصة حيث تستخدم مرات عديدة ولا تستهلك إلا بعد مدة طويلة ، كما يمكن أن تعمل على أكثر من طول قياس ، ومعايرة هذه الأجهزة سهلة ومباشرة . ومن عيوب مقاييس الانفعال الميكانيكية كبر الحجم وأن مقدار التكبير للتشكل الطولي محدود لا يزيد عن ٢٠٠٠ مرة كما أنها لا تصلح لقياس الانفعال الناتج من الحمل الديناميكي مثل حالة دراسة الصدم والاهتزازات .

وهذه الأجهزة ينقصها الدقة أحياناً نتيجة عوامل لا يمكن تلافيها وهي الوزن والتصور الناق والاحتكاك ومدى قابلية أجرامها للانثناء (Flexibility) وعدم فاعلية الحركة . ويمكن تقسيم هذه الأجهزة إلى الأنواع الرئيسية الآتية :

١ — المقاييس ذات الأذرع : (Lever Gages) .

يكون التكبير الميكانيكي عن طريق ذراع أو ذراعين أو عدة أذرع ومن أمثلة هذا النوع من الأجهزة جهاز د هو جنبر جر ، (Huggenberger) كما هو مبين بالشكل رقم (٣ - ٢) والشكل رقم (٣ - ٣) وهو منتشر الاستعمال في تحليل الإجهادات (Stress Analysis) نظراً لصغر حجمه وتكبيره المناسب للتشكل الطولي



شكل رقم (٣ - ٢) جهاز هوجنبرجر لقياس التشكل

حيث توجد أنواع متعددة لهذا الجهاز يتراوح حامل تكبيرها من ٣٠٠-٢٠٠٠ حسب النموذج كما توجد نماذج أخرى ذات طول قياس يمكن تغييره حسب الطول المطلوب باستخدام ميكرومتر ميكروسكوبي ويبين الشكل رقم (٣ - ٢) أجزاء جهاز هوجنبرجر ، حيث يتضح أن التكبير للتشكل الطولي يتم على دفتين .

ويكون عامل التكبير كالآتي :

$\Delta L =$ التشكل الطولي .

$\Delta \bar{L} =$ التشكل الطولي بعد التكبير

$$\Delta L = \Delta S (W_1 + W_2) / W_1$$

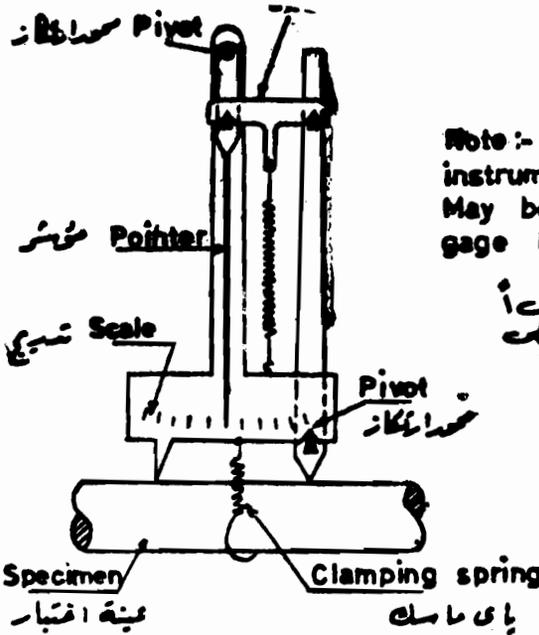
but $\Delta S = \Delta L \cdot (V_2 / V_1)$

$$\Delta L = \Delta L \cdot (V_2 / V_1) \cdot [(W_1 + W_2) / W_1]$$

$\Delta L = \Delta L \times \text{Magnification factor}$

حيث V_2, V_1, W_2, W_1 هي قيم المسافات الميمنة بالمقياس على الشكل رقم (٣-٢) وهي أذرع المقياس.

عامل التكبير الثاني = $\frac{V_2}{V_1}$ ، عامل التكبير الأول = $\frac{W_1 + W_2}{W_1}$



Note :- Usual gage length of instrument as made is 1 in. May be modified to give gage lengths of 1/2 to 8 in

ملاحظة: يُرفد عادة طول القياس أ
ويمكن تغييره إلى ما بين
أطواله من ١/٢ إلى ٨

SCHMATIC DIAGRAM OF HUGGENBERGER TENSOMETER.

بيان تخطيطي لمقياس الاستطالة "هوجنبرجر"

شكل رقم (٣-٢)

ب - المقياس ذات الترس والترس المدرج : (Dial and gear gages)

يكون التكبير الميكانيكي عن طريق عدد من التروس ، كما في الشكلين رقم (٣-٤) ، (٣-٥) وهذه الأجهزة أكثر صلاحية للاستخدام على طول قياس كبير نسبياً .

For 1 inch spindle movement :-

- A rotates once
- B rotates $60/24$ of A
- C rotates $60/15$ of B or $60/25 \times 60/24 = 10A$

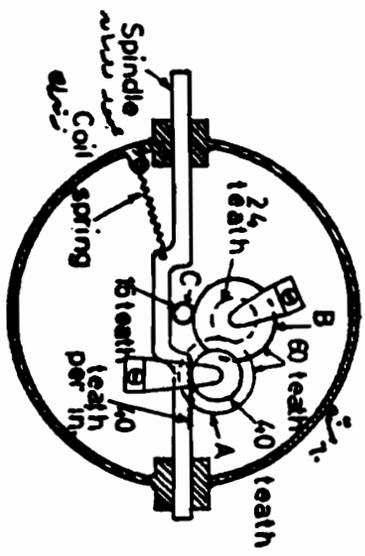
Hence 1 rev. of C (attached to pointer) = 0.1 in. of spindle movement. Dial graduated into 100 parts. Smallest division on dial = $0.1 \div 100 = 0.001$ in. of spindle movement.

لتحرك مؤشر الساعات 1

تتعدى ساعة واحدة
 ب يدور $24/70$ ساعة
 ج يدور $15/70$ ساعة
 أو $10 = 24/70 \times 15/70$

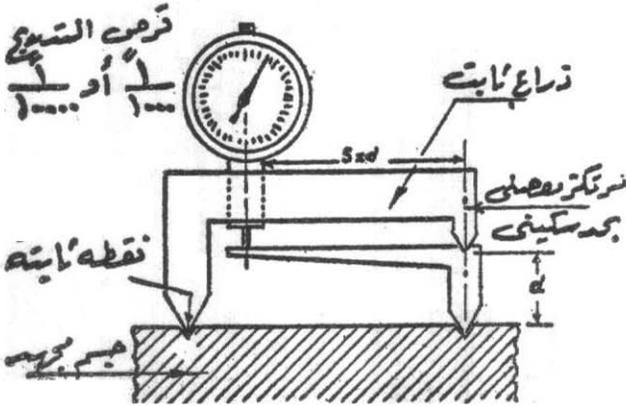
ولذلك ناه روية واحدة ساعة واحدة بالقرص
 = ا. ب. ساعة واحدة ساعة واحدة
 والقوس ساعة الى 100 جزء
 واحد في ساعة واحدة القوس = ا. ب. 100 جزء
 ساعة واحدة ساعة واحدة ساعة واحدة

شكل رقم (1 - 2)

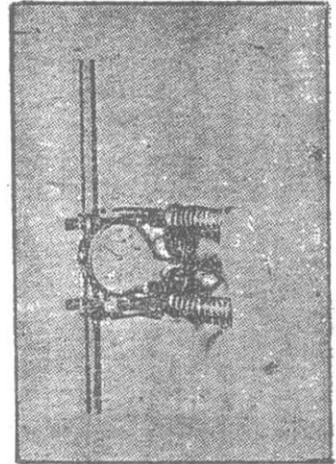


TYPICAL DIAL-INDICATOR MECHANISM

آلية المبين ذو القوس المدرج



شكل رقم (٣ - ٦) مقياس الذراع والقرص



شكل رقم (٣-٥) مقياس القرص والقرص المدرج

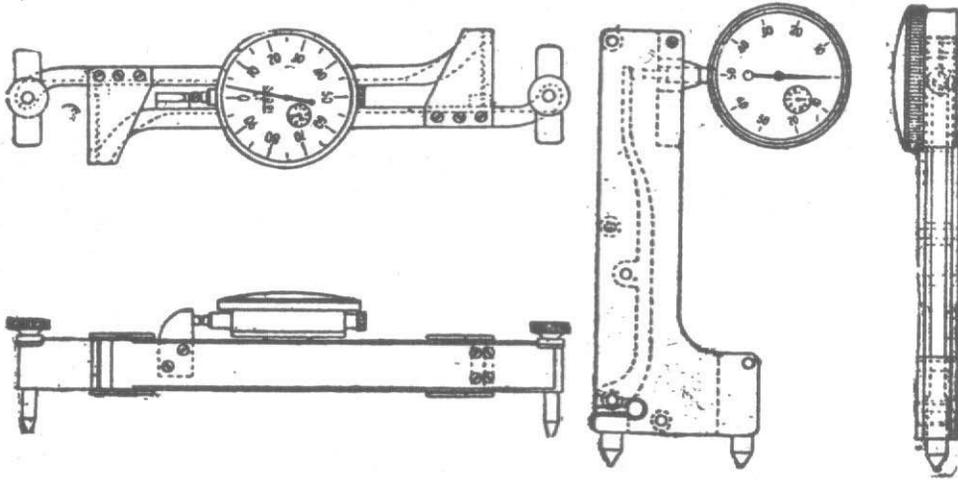
وتستخدم هذه الأجهزة كثيراً في الاختبارات العملية حيث يحسن القراءة الواضحة المباشرة التي يبينها القرص المدرج للجهاز . كما تستخدم لقياس انحناء الكرات والإطارات وخاصة تحت ظروف التشغيل حيث يقاس التشكل الناتج من الحمل العادي ومن الحمل الزائد (Overload) .

ومن أمثلة هذه الأجهزة قرص دايمس (Almes Dial) المبين بالشكل (٣-٥)

ج - المقاييس ذات النوع والقرص : (Lever and Gear gages)

يكون التكبير الميكانيكي للتشكل عن طريق ذراع وترس وتبين قيمة ذلك التشكل على قرص مدرج ، أي أن التكبير الميكانيكي للتشكل يحدث بالجمع بين الطريقتين الميبتين بالبندين السابقين ١ ، ب . ومن أمثلة هذه الأجهزة ما هو مبين بكل من الأشكال (٣ - ٣٠٦ - ٣٠٧ - ٨) .

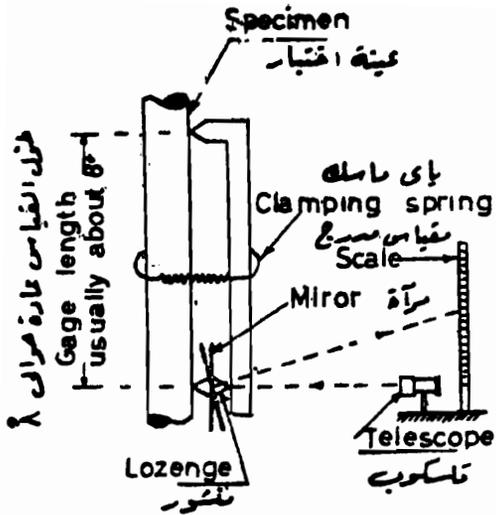
ويتميز هذا النوع من الأجهزة أنه يمكن عمل علامات بالجسم المختبر بحيث يكون طول القياس ثابت ومحدد بين كل علامتين ثم تؤخذ قراءة أولى للمسافة بين كل علامتين بهذا الجهاز. وبعد تحميل الجسم تؤخذ قراءة ثانية لهذه المسافة ، ومن ذلك يمكن معرفة التشكل على أكثر من طول قياس بالجسم في وقت واحد وبجهاز واحد برفعه يدوياً وبوضعه في كل علامتين من مكان إلى آخر .



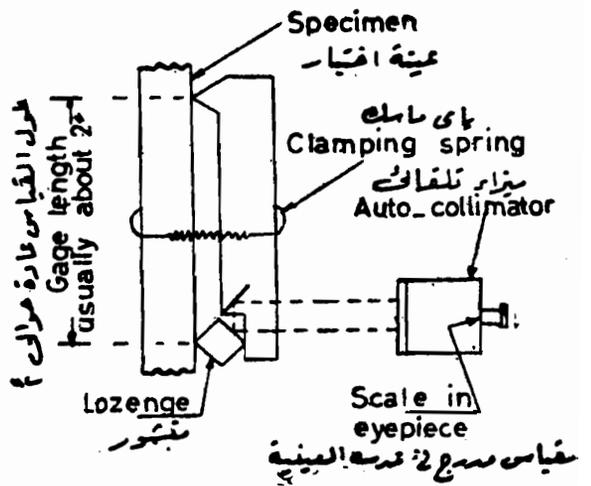
شكل رقم (٧-٣) مقياس الذراع والترس شكل رقم (٨ - ٣) مقياس الذراع والترس

ثانياً - المقاييس الضوئية للاتصال (OPTICAL STRAIN GAGES)

يتكون جهاز قياس الاتصال الضوئي من أذرع ميكانيكية ومرايا وعدسات ضوئية حيث يلبث السطح العاكس للضوء (المرآة) مرتكزاً على ذراع مركب على طول القياس بالجسم المختبر ، فإذا حدث تشكل في طول القياس فإن ذلك يتسبب في دوران السطح العاكس للضوء . وإذا أرسلت أشعة ضوئية لتسقط على السطح العاكس وترتد على مقياس مدرج بالجهاز فإن مقدار حركة الأشعة نتيجة دوران السطح العاكس التي يبينها المقياس المدرج تعبر عن التشكل في طول القياس أي تمثل قيمة ذلك التشكل مكبراً بتلك الطريقة الضوئية باستخدام مرآة أو مرآة ومنشورات . ويستخدم عادة تلسكوب لتوضيح القراءة . وأجهزة قياس الاتصال الضوئية تعتبر من الأجهزة الدقيقة ذات الحساسية العالية . ومن أمثلة مقاييس الاتصال الضوئية المقياس ذو المرآة الواحدة مثل جهاز مارتن (Martin's Extensometer) شكل رقم (٣ - ٩) . والمقياس ذو المرآتين لتجنب الأخطاء الناتجة عن الحركة النسبية الزاوية لأجهزة



Marten extensometer
مقياس الاستطالة مارتن

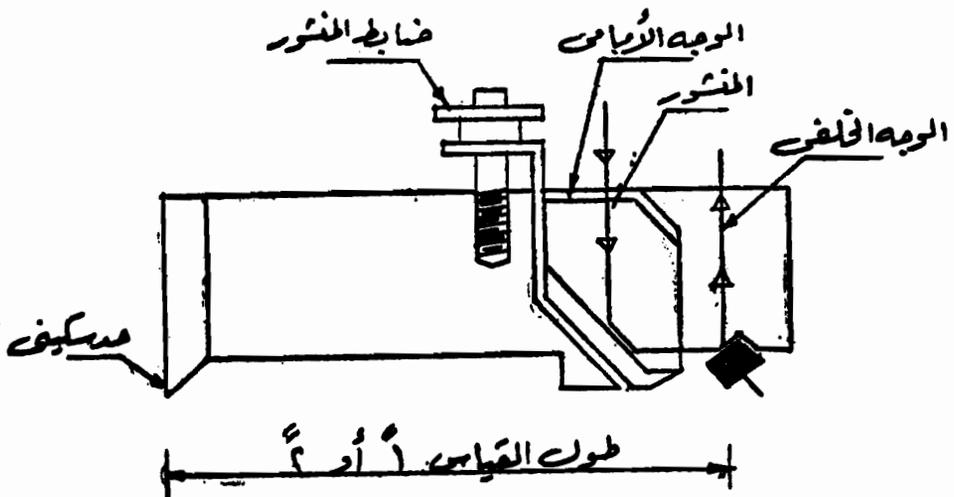


Tuckerman optical strain gage
مقياس الانفعال الضوئي "تكرمان"

MIRROR OR "LIGHT-LEVER" EXTENSOMETERS

مقاييس الأستطالة ذات المرآة أو "الرافعة الخفيفة"

شكل رقم (٣ - ٩)

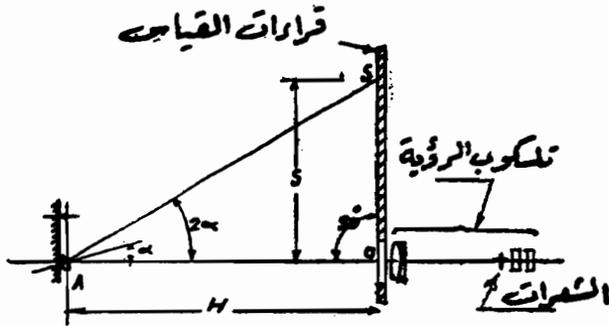


مقياس "تكرمان" للإنفعال

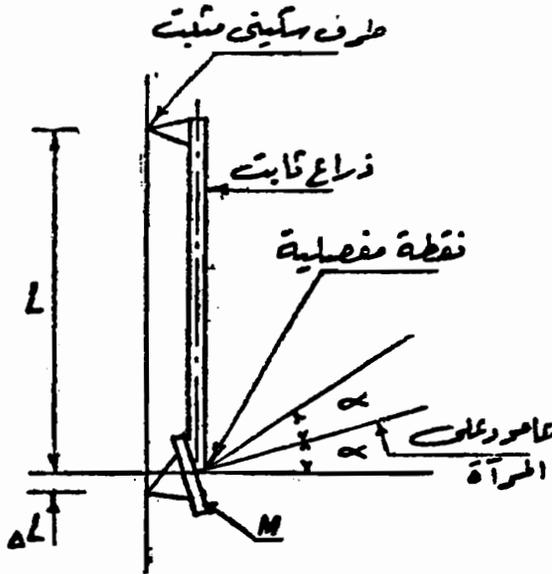
شكل رقم (٣ - ١٠)

القياس ومعدات الاختبار . والقياس ذو الثلاث مرايا مثل مقياس تكerman (Tuckerman gage) وهو أكثر دقة وأسهل تشغيلاً من المقياس ذو المرآتين كما يتبين ذلك من الشكلين (٣ - ٩) والشكل (٣ - ١٠) .

ويحدث تكبير للشكل الطولي بواسطة جهاز مارتن حيث السطح العاكس للضوء بهذا الجهاز عبارة عن مرآة واحدة كما يتبين من الشكلين رقم (٣ - ١١) ، ورقم (٣ - ١٢)



شكل رقم (٣ - ١١) مقياس الانتقال الضوئي ذو المرآة الواحدة



شكل رقم (٣ - ١٢) مقياس الانتقال الضوئي ذو المرآة الواحدة

فالمرآة M مثبتة على مرتكز ذي حرف سكينى يرتكز بذلك الحرف على أحد نهايتى طول القياس . ويثبت هذا المرتكز مفصلياً بذراع ثابت طرفه الآخر يرتكز على الجسم المختبر عند النهاية الأخرى لطول القياس بحرف سكينى ثابت . فاذا حمل الجسم المختبر وحدث تغير بالاستطالة لطول القياس فان المرتكز السكينى المثبت مفصلياً بالذراع والذى يحوى المرآة يحدث له دوران . وبالتالي تحدث حركة دوران للمرآة . وباستخدام تلسكوب ليحدد قراءات مقياس الجهاز فان الفرق^٢ بين قراءتى المقياس نتيجة تغير انعكاس الأشعة تعبر عن مدى دوران المرآة الناتج من التشكل فى طول القياس مكبراً ويتوقف ذلك على مسافة التلسكوب H ويكون عامل التكبير هو :

$$S/\Delta L = H \tan 2\alpha / r \sin \alpha = 2H/r \quad (\text{Eor small angle } \alpha)$$

حيث :

S =	فرق قراءتى المقياس
$\Delta L =$	التغير فى طول القياس L
H =	قيمة مسافة التلسكوب من الجهاز
r =	بعد السطح العاكس للضوء عن سطح الجسم
$\alpha =$	زاوية دوران السطح العاكس للضوء

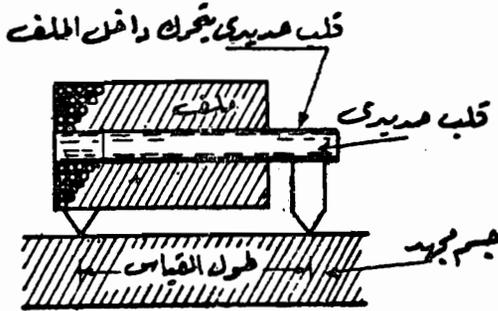
ثالثاً - المقاييس الكهربية للانفعال

يمكن تقسيمها لثلاثة أنواع :

- (١) مقاييس الانفعال بالمحاثة الكهربية Inductance S. G.
- (ب) مقاييس الانفعال بالسعة الكهربية Capacitance S. G.
- (ج) مقاييس الانفعال بالمقاومة الكهربية Electrical Resistance S. G.

وأكثر هذه الأنواع استخداماً هو النوع الثالث وذلك لسهولة استعماله وملاءمته للظروف المختلفة للتحميل . أما النوعان الأول والثانى فاستعمالهما محدود لوجود صعوبات تعدد مثل كبر حجم المقياس وصعوبة التشغيل والتناسب بين أكل من المحاثة والسعة والانفعال فى مدى صغير فقط .

١ - مقياس الانفعال باستخدام المعانة الكهربية : (Inductance S. G.)
يتكون المقياس شكل رقم (٣ - ١٣) من هذا النوع من ملف ذي قلب من
الحديد (Iron Cored Coil) يمكن أن تتغير محامته . وهذا التغير في المحامته يمكن
أن يجرى بتغيير الثغرة الهوائية في دائرة المغناطيسية (Flux Circuit) أو بتحريك الحافظة



مقياس الانفعال بالمحانة الكهربائية

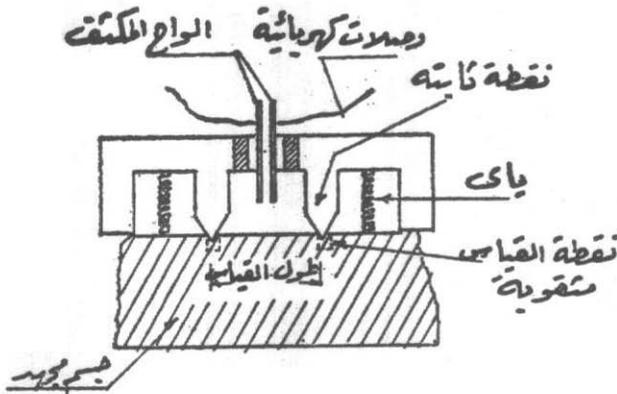
شكل رقم (٣ - ١٣)

الحديدية (Armature) في الملف. وإذا وحصل هذا المقياس بمنشأ وحمل المنشأ فإن
الانفعال الناتج سيتسبب في تغير الثغرة الهوائية (Air Gap) أو حركة الحافظة الحديدية،
ويمكن تحديد التغير الناتج في المحامته والذي يمثل بدوره الانفعال الذي حدث بتوصيل
المقياس بدائرة محامته (Inductance Bridge) بها فولتا متر في حالة الأحمال الاستاتيكية
أو مرسم أشعة الكاثود (Cathode - Ray - Oscillograph) في حالة الأحمال الديناميكية
وذلك ليبيان جهد عدم الاتزان (Out - of - balance Potential) في الدائرة .

واستعملات هذا المقياس محدودة وذلك لأن العلاقة بين الانفعال والمحامته لا يمكن
اعتبارها خطية إلا في نطاق الانفعالات الصغيرة كما قد تحدث أضرار جسيمة أثناء
استخدامه بسبب القوة المغناطيسية (Magnetic Force) الكبيرة التي تتولد في المقياس
عبر الثغرة الهوائية والتي قد ينتج عنها ذبذبات خطيرة على المنشأ .

ب - مقياس الانفعال باستخدام السعة الكهربية : (Capacitance S. G.)

شكل (رقم ٣ - ١٤)



شكل رقم (٣ - ١٤) مقياس الاضال بالسة الكهربية

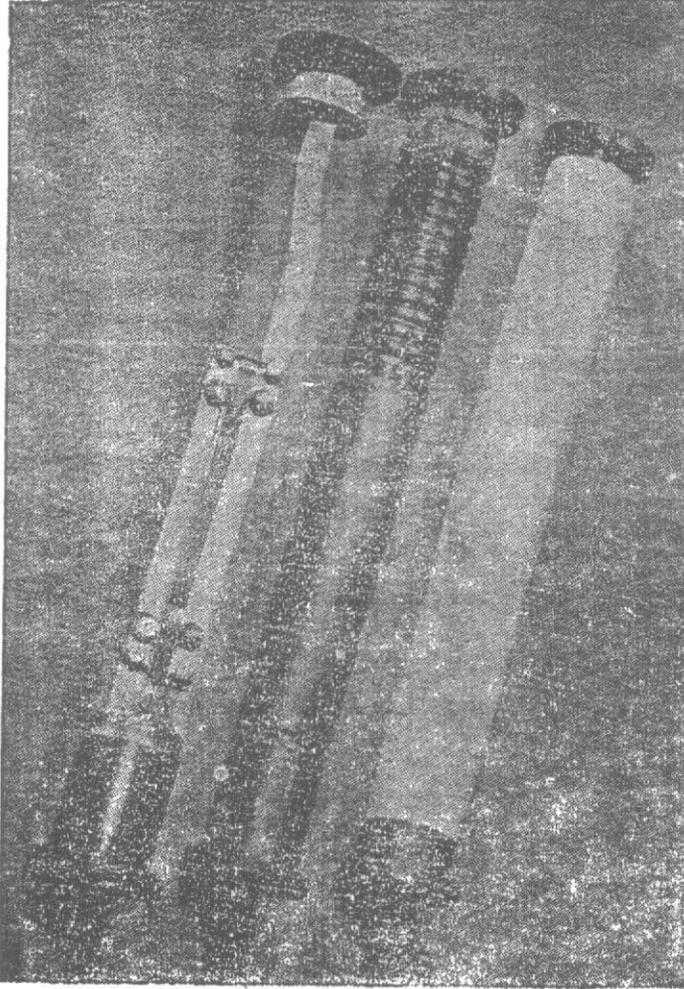
إذا تغيرت المسافة بين ألواح مكثف أو تغيرت مساحتها تحت تأثير إنفعال فان سعة هذا المكثف تغير ، وهذا التغير يمكن اعتباره مقياساً للإنفعال ويمكن قياسه خلال دائرة لقياس السعة (Capacitance Bridge) حيث يقاس عزم الاتزان الناتج بواسطة فولتا متر أو بواسطة مرسم أشعة الكاثود ، ويكون التغير في السعة نتيجة لتغير المسافة بين الألواح خطياً فقط للتغيرات الصغيرة ، بينما يكون التغير في السعة نتيجة التغير في المساحة خطياً فقط للتغيرات الكبيرة .

وهناك صعوبات كثيرة تجعل استخدام هذا النوع غير مرغوب فيه مثل الصعوبات المتعلقة بالتركيب والوسط الكهربائي العازل (Dielectric) .

ج - مقياس الانفعال باستخدام المقاومة الكهربية

١ - القياس غير التماسك مع الجسم العنبر (Unbonded Gage)

ويسمى مقياس د كارلسون ، (Carlson Gage) شكل رقم (٣ - ١٥) . ويعتمد هذا المقياس على التغير في المقاومة الكهربية لسلك من الصلب نتيجة لتغير الشد فيه . وقد أنشأ هذا المقياس د كارلسون ، سنة ١٩٢٥ وذلك بلف سلك في ثلاثة ملفات . الأول منها عبارة عن ملف لا يتأثر بحركة المقياس والآخرين يتغير مقدار الشد فيها بحركة المقياس تغيراً عكسياً في كل منها . فثلاً لحركة معينة للمقياس يزيد الشد في أحد الملفين بينما ينقص في الثاني . ويعطى التغير في المقاومة المقاس بدائرة



شكل رقم (٣ - ١٥) مقياس كارلسون

وهو يقيسون ، دلالة للانفعال الذي حدث .

ويعتبر الاستعمال الرئيسي لهذا النوع هو قياس الانفعالات داخل المنشآت الخرسانية وقياس إزاحات البلاطات الخرسانية عند الوصلات وكذلك انفعالات الانكماش . وقد وضعت في السنوات الأخيرة في الخزانات الخرسانية لتسجيل التشكلات طولية الأمد نتيجة تغير الأحمال ودرجات الحرارة .

٢ - المقياس السلكي المتماكب مع الجسم المختبر (Bonded Wire Gage)

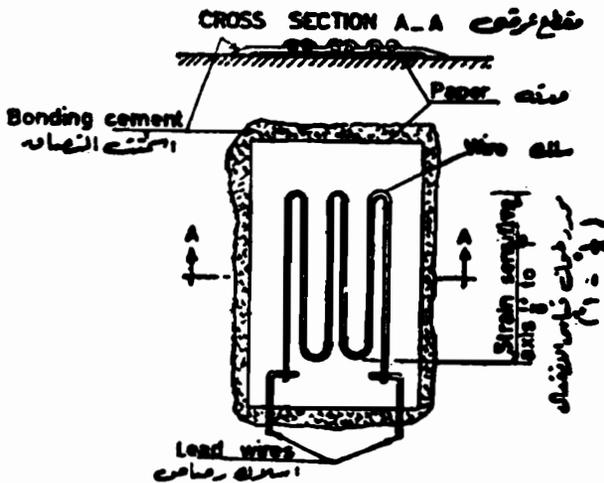
شكل رقم (٢ - ١٦) .

ويطلق عليه مقياس الانفعال بالمقاومة الكهربائية (Electrical Resistance Strain Gage) ويشكون جهاز الانفعال بالمقاومة الكهربائية من سلك قصير بشكل معين موضوع بين طبقتين دقيقتين من الورق أو القماش أو البلاستيك يلمص على الجسم المختبر لصقاً تاماً بحيث إذا حدث انفعال بالجسم فإنه ينتقل تماماً إلى الجهاز ويحدث به نفس الانفعال الذي يسبب بالتبعية تغير في المقاومة الكهربائية للسلك . وحيث أنه من المعلوم أن التغير في الطول لأي سلك مقسوماً على الطول الأصلي (أي قيمة الانفعال) يتناسب مع قيمة التغير الحادث في المقاومة الكهربائية للسلك (نتيجة تغير طوله أو تغير مقطعه المستعرض) مقسوماً على المقاومة الكهربائية الأصلية للسلك ، أي أن الانفعال يتناسب تناسباً مباشراً مع التغير في المقاومة . لذلك يمكن تحديد قيمة الانفعال بقياس هذا التغير بجهاز مناسب كقياس المقاومة الكهربائية .

$$\Delta L / L \div \Delta R / R = \text{Constant}$$

$$\text{Strain} = \Delta L / L = \Delta R / R \times \text{Constant}$$

جهاز القياس هذا قد يكون بسيطاً مثل پوتنشيومتر (Potentiometer)

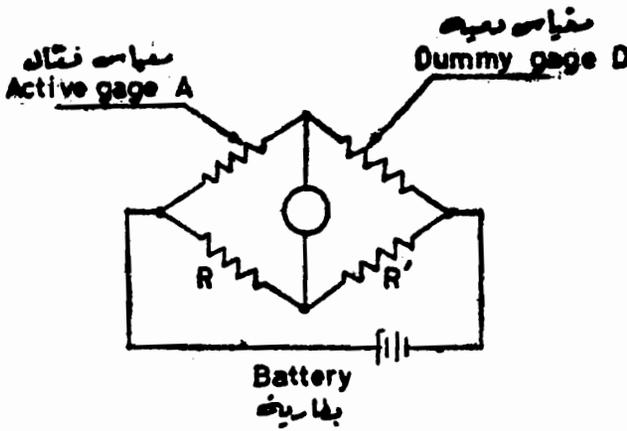


SCHMATIC DRAWING OF BONDED-TYPE, SR-6 ELECTRIC STRAIN GAGE.

رسم توضيحي لقياس الانفعال الكهربائي

أو دائرة هويستون أو جلفا نومتر حساس أو مبدن انفعال إلكتروني أو مسجل
تخطيطي (Graphic Recorder) أو مرسوم ذبذبات (Oscillograph) في حالة
الأحمال الديناميكية .

فإذا طلت أو عينت مقاومة سلك الجهاز R ثم قيست المقاومة الكهربية للسلك
بعد تحميل الجسم المختبر وحدث انفعال به وكانت R_1 وذلك باستخدام دائرة
هويستون (شكل ٢ - ١٧) فيمكن حساب التغير في مقاومة السلك نتيجة التحميل



WHEATSTONE - BRIDGE MOKUP

دائرة هويستون

شكل رقم (٢ - ١٧)

ΔR إذا كان الثابت الخاص بالسلك والذي يسمى عامل القياس (Gage factor) معلوم أو يعطيه المنتج صانع الجهاز .

$$\left(\frac{\Delta R}{R} / \frac{\Delta L}{L} = \frac{\text{التغير في الطول}}{\text{التغير في المقاومة}} = \text{عامل القياس} \right)$$

وعلى ذلك يمكن حساب قيمة الانفعال كالتالي :

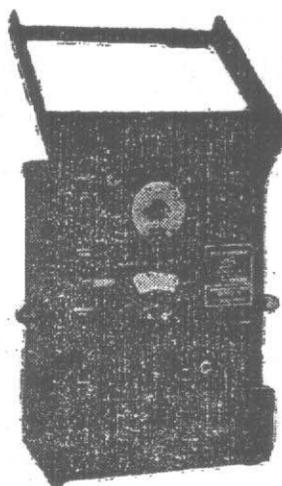
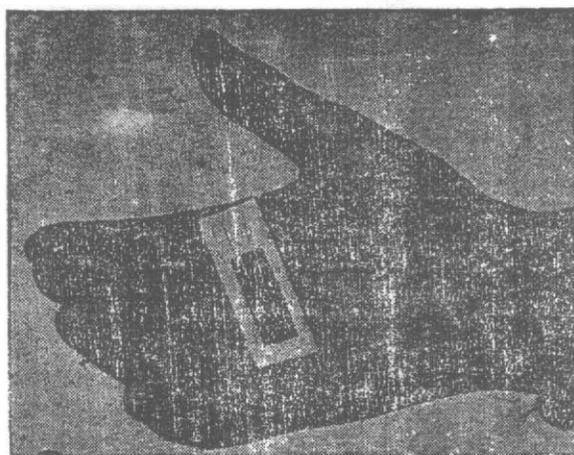
$$\begin{aligned} \text{Strain} &= \frac{R_1 - R}{R} \times \text{gage factor} \\ &= \Delta R / R \times G. F. \\ &= \Delta R \times (G. F. / R) \end{aligned}$$

كما يوجد جهاز مساعد بين الإنفعال مباشرة ويسمى المبين للإنفعال (Strain Indicator) شكل رقم (٣ - ١٨). يحدد مقاومة السلك R أو R_1 مضروبة في ثابت الجهاز (G. F. / R.) أى بأخذ قراءتين على الجهاز المبين للإنفعال قراءة قبل تحميل الجسم المختبر والتي تساوى (G. F. / R.) \times وقراءة بعد التحميل والتي تساوى (G. F. / R.) $\times R_1$

وفرق القراءتين $\Delta R (G. F. / R.) = (R_1 - R) \times (G. F. / R.)$ يعطى قيمة الإنفعال الناتج من تأثير التحميل .

وقد عملت أجهزة قياس الإنفعال بالمقاومة الكهربية لأول مرة بأمرىكاسنة ١٩٤٩ وسمى الجهاز (S R₄) ، أى بالحرف الأول لكل من العالمين Rugef و Simmons اللذين قاما بوضعه موضع التنفيذ فى قياس الإنفعال . ثم انتشرت وتنوعت صناعة تلك الأجهزة فى مختلف الدول . وتميز هذه الأجهزة بما يأتى :

١ - صغر الحجم شكل رقم (٣ - ١٩) بمقاسات أقل من طابع البريد وبطول قياس للسلك فى الأجهزة العادية يتراوح بين ٢٥ مم إلى ١,٥ مم وذلك يمكن من استخدام تلك الأجهزة لقياس الإنفعال على أجزاء المكونات الدقيقة المختلفة التى لا يمكن لها استخدام أجهزة قياس الإنفعال الميكانيكية أو الضوئية .



شكل رقم (٣-١٨) الجهاز المبين للإنفعال شكل رقم (٣-١٩) مقياس إنفعال بالمقاومة الكهربية

ب — قياس الانفعال مباشرة من قياس التشكل الطولي للجسم المختبر كما هو الحال في الأجهزة الميكانيكية والضوئية .

ج — سهولة الاستعمال بلعقها على الجسم المختبر وخصوصاً على الأسطح غير المستوية التي لا يمكن من تركيب الأجهزة الميكانيكية أو الضوئية عليها وسهولة تحديد الإنفعال بأخذ قراءات مباشرة على مقياس موجود بجهاز بيان الانفعال .

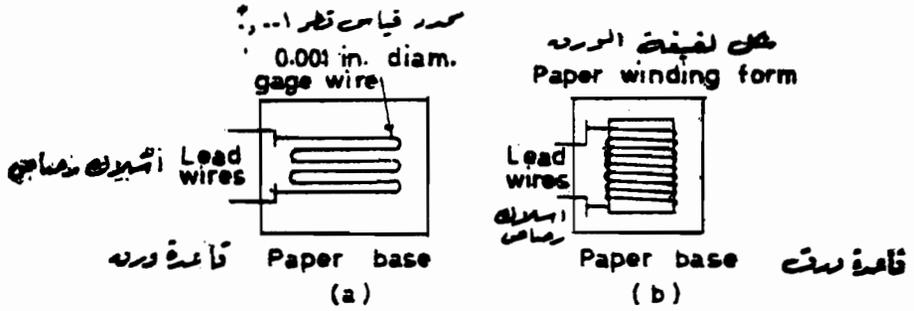
د — وجود حساسية عالية لهذه الأجهزة حيث يمكنها بيان الانفعال لغاية 10^{-7} م/م وهذه الحساسية لا يمكن أن تصل إليها الأجهزة الميكانيكية أو الضوئية .

هـ — إمكان قياس الإنفعال نتيجة التأثير بالأحمال الديناميكية على المنشآت والمسكات وعينات الاختبار أى قياس الانفعال الديناميكي (Dynamic Strain) حيث لا يمكن للأجهزة الميكانيكية والضوئية أداء ذلك . وتعتبر تلك الميزة من النقط الأساسية التي ساعدت على إنتشار إستعمال هذه الأجهزة الكهربية على نطاق واسع خصوصاً في الأعمال الميكانيكية وأعمال الأبحاث ، وأيضاً جعلت هذه الميزة الأجهزة قياس الانفعال بالمقاومة الكهربية أثر كبير على التقدم العلمي والمساعدة الفعالة الدافعة لتقدم الأبحاث .

أجزاء المقياس :

يتكون المقياس من سلك على هيئة شبكة (Grid) تأخذ أشكالاً مختلفة (أشكال رقم ٣ — ٢٠ ، ٢١ — ٢١) وتوضح هذه الشبكة بين ورق رقيق جداً أو قماش رقيق أو بلاستيك ، ويتراوح طول المقياس بين $\frac{1}{4}$ من البوصة ، ٦ بوصات (حوالي ١,٥ إلى ١٥٠ م) .

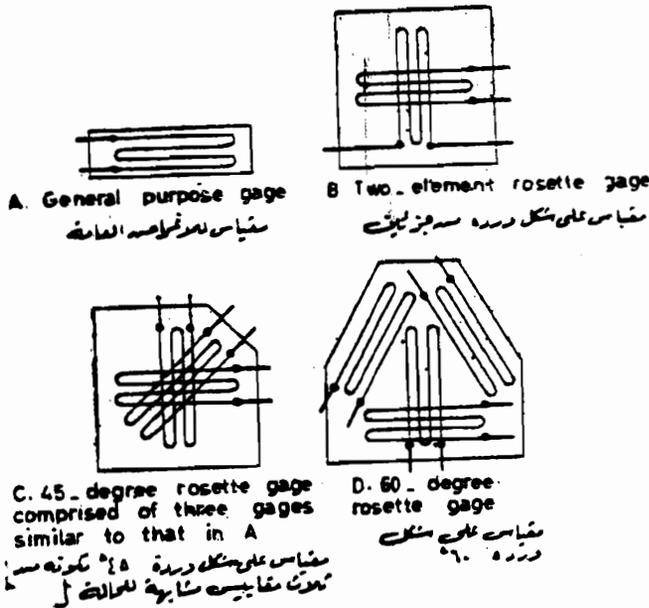
ولحماية شبكة السلك أثناء الاستعمال من اختلاف درجات الحرارة يوضع غطاء من الباد فوق المقياس في معظم الأحوال . وتنتهي الشبكة بطرفي توصيل لتوصيلها بدائرة القياس الخارجية ، ويلاحظ أن مساحة مقطع أطراف التوصيل أكبر بكثير من مساحة مقطع سلك الشبكة حتى يمكن لحامها بدائرة القياس ، وفي نفس الوقت تكون مقاومتها صغيرة بالنسبة لمقاومة الشبكة بدرجة يمكن معها إهمالها ، وتوجد



(a) BONDED - WIRE STRAIN - GAGE FLAT GRID.
 (b) BONDED - WIRE STRAIN - GAGE HELICAL COIL.

(أ) مقياس الانفعال السلكي الملتصق ، شبكة مستوية
 (ب) مقياس الانفعال السلكي الملتصق ، ملف لولبي

شكل رقم (٣ - ٢٠)



PRINCIPAL TYPES OF ELECTRIC RESISTANCE - WIRE STRAIN GAGES.

الأنواع الرئيسية لمقاييس الانفعال ذات سلك المقاومة الكهربائية

شكل رقم (٣ - ٢١)

مواد متعددة يمكن استخدامها في أسلاك الشبكة .

وعلى ذلك توجد خمسة متغيرات أساسية تدخل في الاعتبار عند إنشاء المقياس :

— المادة التي يصنع منها سلك المقياس (Filament) .

— المادة التي يصنع منها القاعدة الحاملة للسلك .

— اللصق الذي يربط السلك مع القاعدة الحاملة له .

— تصميم سلك المقياس وأطراف التوصيل .

وبالإضافة إلى هذه المتغيرات الأساسية يوجد الاختلاف في الأبعاد والاختلاف

في شكل الشبكة السلكية (Grid pattern) والاختلاف في المقاومة الكهربائية

وتوجد كذلك مقاييس متعددة (Multi - element gages) تركيب على حامل واحد .

والمادة التي يصنع منها السلك هي المتغير الرئيسي ، وبما أن الكمية التي تقاس

فصلا هي التغير في المقاومة فإنه يكون من الواضح أن تكون النسبة بين التغير في

المقاومة والتغير في الاتفعال أكبر ما يمكن . وهذه النسبة (أوم/ أوم مقسومة على

بوصة / بوصة) تعرف بعامل المقياس (Gage factor) فإذا كانت هذه النسبة نتيجة

لتغير في الأبعاد فقط فإنه غالباً يكون عامل المقياس لأي سلك حوالي ٧ ، ١

وعند اختبار أنسب المواد لعمل سلك المقياس يراعى شدة حساسيتها للاتفعال

(Strain Sensitivity) ومقاومتها الكهربائية الكبيرة بدرجة معتدلة (أى لا تكون

صغيرة جداً) . كما يجب أن يكون معامل تغير مقاومتها الكهربائية مع الحرارة صغيراً

لتلافى الخطأ الناتج عن تغير المقاومة نتيجة تغير درجات الحرارة ويجب أن تكون

العلاقة بين الاتفعال والمقاومة خطية حتى قيم كبيرة للاتفعال .

ولهذا فإن المادتين اللتين تستخدمان في صنع المقاييس المعروفة تحت اسم

(S R 4) (وهى أكثر المقاييس شيوعاً) هما سبيكة من النحاس والنيكل وهذه

السبيكة عامل مقياس حوالي ٢ وسبيكة أخرى من النوع ثابت المرونة (Iso-Elastic)

لها عامل مقياس حوالي ٣,٥ .

ويمكن القول بأن اختيار أى من هذه المقاييس مسألة يقوم بتحديدتها المستعمل

للمقياس . فثلاً عندما يكون الاتفعال ثابتاً لفترة من الوقت ثم يتغير لفترة أخرى

(كما يحدث في التخميل المتزايد) فإنه يكون من المستحسن أن نستخدم مقياساً ضئيل الحساسية للتغير في درجات الحرارة ، حتى ولو كان ذلك على حساب الحساسية للانفعال . وبذلك يكون من المناسب استخدام مقياس ذئ سلك من سبيكة النحاس والتىكل .

أما في الاختبارات التي يتغير فيها الانفعال بسرعة والتي تكون فترة الاختبار فيها قصيرة ولا يكون هناك تغيرات تذكر في درجة الحرارة فإنه يصبح في الإمكان الاستفادة من ميزة المقاييس المصنوعة من مادة ثابتة المرونة على الرغم من حساسيتها لتغير درجات الحرارة . كما أنه إذا أريد قياس الانفعالات في أكثر من اتجاه فيمكن استخدام المقاييس المتعددة الموجودة على قاعدة حاملة واحدة لسهولتها .

المادة اللاصقة للمقياس على سطح الجسم المختبر :

توجد بمجموعتان أساسيتان لهذه المواد وهما :

١ - نيتروسليلولوز (Nitrocellulose Cement)

٢ - راتنج الفينول (Phenol Resins) وتصلح في الاختبارات عند درجات الحرارة المرتفعة .

ويلزم أن تكون المادة اللاصقة ذات أثر فعال بعد تثبيت المقياس بها وجفافها في مدة حوالي ٢٤ - ٤٨ ساعة .

طريقة لصق المقياس على عينات الاختبار :

يجب أن يكون السطح خالياً من أى دهان أو صدأ ، وبعد التأكد من نظافة سطح عينة الاختبار نتمم باستخدام « صنفرة » متوسطة الحشونة ، وإذا كان السطح ناعماً جداً ومصقولاً فيجب تخشينه بصنفرة متوسطة الحشونة أيضاً ثم ينظف السطح بعد ذلك بقطعة من القطن مبللة بالأسيتون أو الكحول أو رابع كلوريد الكربون . وبعد التنظيف يجب مراعاة المحافظة على بقاء السطح نظيفاً إلى أن يركب المقياس والاحتراس من ملامسته ولو حتى بالأصبع . ويطلّى الوجه الأسفل من المقياس وكذلك السطح المختبر بالمادة اللاصقة المناسبة ثم يثبت المقياس ويضغط على سطحه العلوى بواسطة الإبهام حتى تخرج المادة اللاصقة الزائدة ثم يوضع ثقل أو قوة ضاغطة مقدارها ثقل

باوند واحد على بعض أنواع المقاييس وترك حتى تجف المادة اللاصقة . وتراوح المدة اللازمة للجفاف بين ٢٤ ، و٤٨ ساعة ، وفي الحالات التي تتطلب جفافاً أسرع من ذلك يترك المقياس والسطح المختبر ليبرد لمدة ساعتين في درجة حرارة العمل ثم يجف بعد ذلك بالتدرج عند درجات حرارة أعلى (لا تزيد عن ٩٠°م) وذلك لمدة ساعات . وإذا كان يخشى من تأثير الرطوبة أو إذا كان الاختبار سيتم لإجراؤه تحت سطح الماء ، فيجب في هذه الحالة تغطية المقياس بمادة عازلة للماء كالشمع مثلاً .

وجدير بالذكر أن حماية مقياس الانفعال من الرطوبة ذات أهمية خاصة نظراً لأن الرطوبة تغير أبعاد الملتصق وبذلك تغير المقاومة الكهربائية بسبب الانفعالات التي تنتج على السلك ، كما تسبب الصدأ الكيميائي الكهربائي للسلك نتيجة التحليل الكهربائي مما يتسبب في ارتفاع المقاومة الكهربائية للمقياس .

وبعد جفاف المقياس تلحم أطراف التوصيل بدائرة القياس الخارجية ويجب ربط أطراف التوصيل بعناية لتجنب أى تحميل غير مرغوب فيه على سلك المقياس ويستعمل لهذا الغرض شريط لاصق . ثم تراجع قيمة المقاومة الكهربائية للمقياس باستعمال أوميتر ويجب ألا تتغير قيمة المقاومة بأكثر من ٠.١٪ من القيمة المكتوبة وإلا فيجب تغيير المقياس بالآخر .

وأفانوع أجهزة قياس الانفعال بالمقاومة متنوعة منها :

S - R₄ Gage, British Calence gage

British thermostat gage, De havilland gage

Rotol gage, Tinsley gage, Topic gage, Phillips gage, ... etc.

طريقة قياس الانفعال الاستاتيكي

يقاس الانفعال الاستاتيكي باستخدام جهاز بيان الانفعال (المحتوى على دائرة هو ينستون لموازنة المقاومة الكهربائية) وبالطريقة السابق بيانها ولكن يحسن عند الاختبار توصيل المقياس بعد لصقه على الجسم بأحد ذراعى الدائرة ويسمى المقياس (Active gage) وتوصيل مقياس آخر ملصوق على عينة من نفس معدن الجسم وغير معرضة لآى تحميل بالذراع الآخر للدائرة ويسمى المقياس الدمية (Dummy gage) شكل رقم (٢ - ١٧) حتى يمكن إزالة تأثير الحرارة الجوية على القراءات وذلك

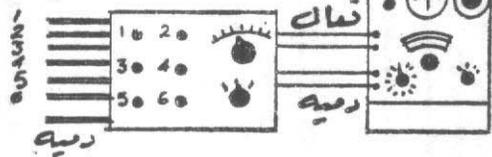
يأجرأ التعادل لتغير المقاومة في المقياس الفعال الناتجة من الحرارة مع نفس التغير في المقاومة الحادث في المقياس الدمية حتى تكون القراءة على جهاز بيان الانفعال تعبر عن التغير في المقاومة للمقياس الفعال نتيجة التحميل فقط ، ويمكن قياس الانفعال في أكثر من مكان بالجسم المختبر باستخدام أكثر من مقياس تلتصق في تلك الأماكن وتوصل بجهاز مساعد يسمى وحدة الموازنة والتحويل (Balancing & Switching unit) والتي تتصل بدورها بجهاز بيان الانفعال (Strain Indicator) كما يتبين من الشكل رقم (٣ - ٢٢) حيث يمكن أخذ قراءة مقياس واحد فقط التي توصله وحدة التحويل إلى جهاز بيان الانفعال ، وبتغيير التحويل من مقياس إلى آخر يمكن الحصول على قراءات المقاومة الكهربية قبل التحميل لكل المقاييس وكذلك على القراءات بعد التحميل ومنها يحسب الانفعال (الفرق بين قراءتي كل مقياس في جميع فقط الجسم المختبرة) .

ويمكن تسجيل قيم الانفعال باستخدام جهاز المسجل (Recorder) شكل رقم (٣ - ٢٣) بعد توصيله بجهاز بيان الانفعال .



شكل رقم (٣ - ٢٣) جهاز المسجل للانفعال

مقاييس فعالة



جهاز يسهل الانفعال وحدة الموازنة والتحويل

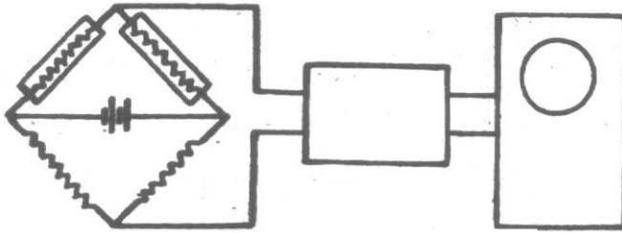
قياس الانفعال الأساتيكي

شكل رقم (٣ - ٢٢)

طريقة لقياس الانفعال الديناميكي :

ويقاس الانفعال الديناميكي بنفس الطريقة السابقة الذكر - ولكن باستخدام دائرة هوريتسون يتبعها مكبر (Amplifier) كما في الشكل رقم (٣ - ٢٤)

ليكبر التغير في المقاومة ثم يلى المكبر جهاز بيان الذبذبات المبين في شكل رقم (٣ - ٢٥) (Cathode Ray Oscillograph) والذى يعمل على الجلفانومتر (Galvanometer) في حالة الانفعال الاستاتيكي حيث يبين هذا الجهاز الإشارة الكهربائية الناتجة من الانفعال الميكانيكي والتي تعبر عنه .



BRIDGE **AMPLIFIER** **OSCILLOGRAPH**
 دائرة هوفستون المكبر جهاز بيان الذبذبات
 شكل رقم (٣ - ٢٤) قياس الانفعال الديناميكي

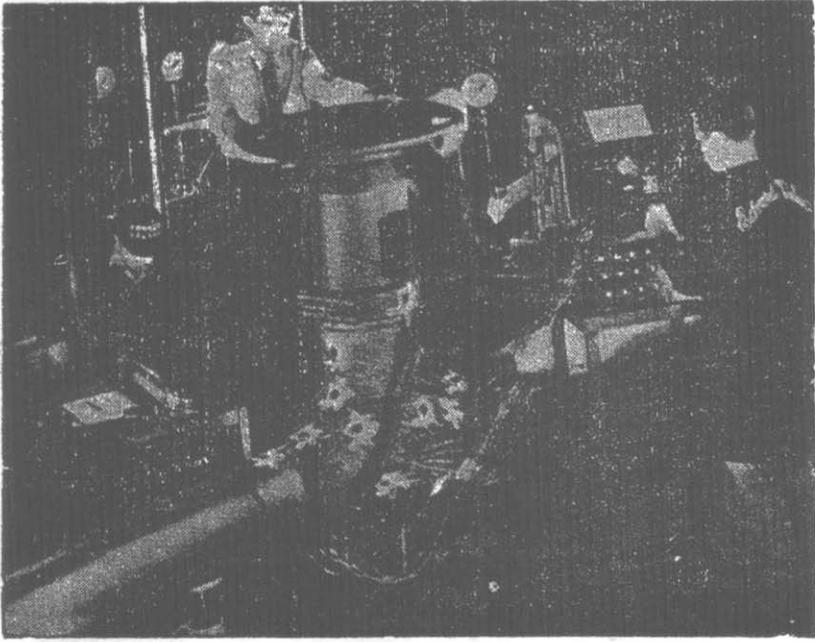
استخدام مقياس الانفعال بالمقاومة الكهربائية

وتستخدم أجهزة قياس الانفعال بالمقاومة الكهربائية استخدامات عديدة مثل تحليل الإجهادات للسكناات والطائرات والمنشآت للتتوعة كالكبارى والقناطر والسدود والعربات وقاطرات السكك الحديدية ومعدات التسليح والعماريخ وأية أعمال أخرى يراد تعيين الانفعال بها وخصوصاً أثناء التشغيل، وكذلك في الدراسات الخاصة بالمواد المختلفة مثل المعادن واليلاستيك والخشب والخرسانة... الخ.

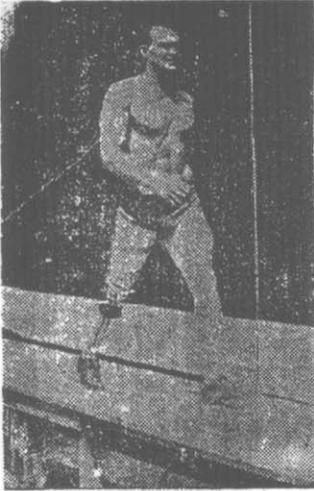


كما تستخدم هذه المقاييس في درجات حرارة تتراوح بين - ٤٠°م ، ١٨٠°م وتبين الأشكال رقم (٣ - ٢٦ - ٢٧ - ٢٨ - ٢٩)

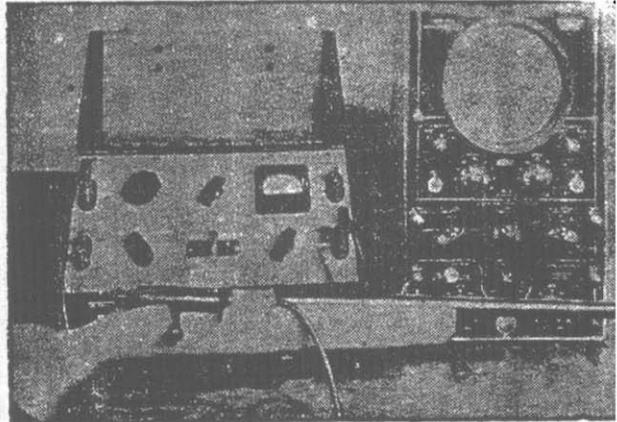
٣ - ٢٩ - ٣٠) بعض الاختبارات المختلفة حيث يستخدم مقياس الانفعال بالمقاومة الكهربائية في قياس الانفعالات .



شكل رقم (٢٦ - ٣) قياس الاقناعات الموجودة بصمام وحدة مواسير



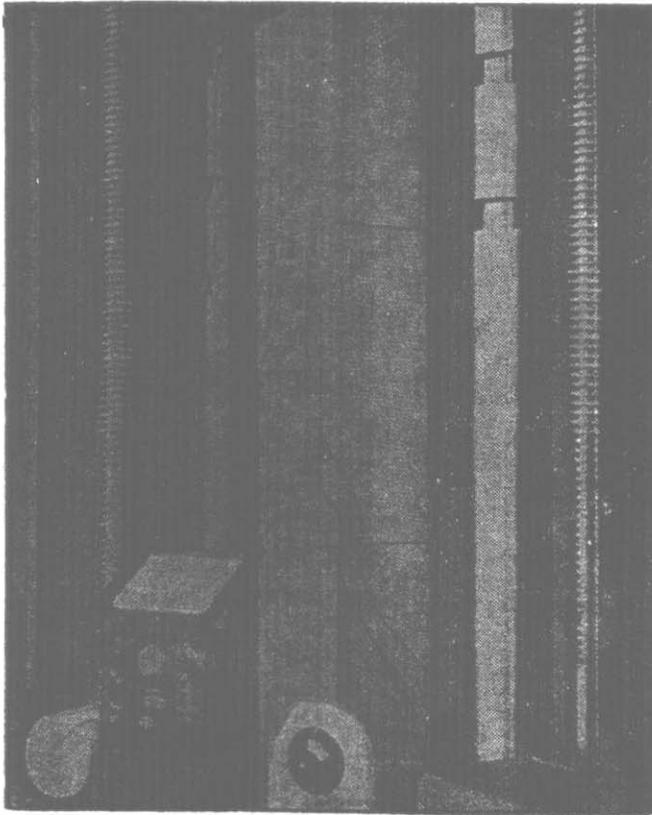
شكل رقم (٢٨ - ٣)
قياس الاقناعات الموجودة
في الأطراف الصناعية



شكل رقم (٢٧ - ٣) قياس الاقناعات في بندقية



شكل رقم (٢٩ - ٣) قياس الاتصالات في كمرات خرسانية



شكل رقم (٣٠ - ٣) قياس الاتصالات في الخرسانة وفي حديد التسليح في عمود خرساني

تمرين رقم (٣)

دواسة اجهزة قياس الانفعال

للجاء :

تهدف هذه الدراسة إلى التعرف على الأنواع المختلفة من مقاييس الانفعال ومعرفة أجزائها وكيفية استخدامها في قياس التغير في الشكل وفي قياس الانفعال .

للتلقة :

- ١ - ما هو المقصود بجهاز قياس الانفعال ؟
- ٢ - ما هو الغرض من تحديد طول القياس عند قياس التغير في الطول بالاستطالة أو بالانكماش؟
- ٣ - اذكر الأنواع المختلفة لأجهزة قياس الانفعال .
- ٤ - ما هي الأنواع المختلفة للأجهزة الميكانيكية لقياس الانفعال؟ ارسم تخطيطياً رسماً لكل نوع مع بيان أجزائه ثم بين كيفية استخدامه لقياس الاستطالة والانكماش للعينات المختبرة ؟
- ٥ - اشرح كيف تعمل الأجهزة الضوئية لقياس الانفعال؟ وضح إجابتك بالرسومات.
- ٦ - ارسم تخطيطياً ثلاثة أنواع من مقاييس الانفعال بالمقاومة الكهربية ثم ارسم أيضاً جهاز بيان الانفعال ووحدة التحويل المستخدمة في قياس الانفعال بمقاييس الانفعال بالمقاومة الكهربية ؟
- ٧ - إذا كانت قراءة جهاز قياس الانفعال (١) هي 0.004765 ، وقراءة الجهاز (ب) هي 0.0049 ، في حين أن القيمة الحقيقية للانفعال هي 0.00485 ، فأى من الجهازين أكثر دقة؟ وأيها أكثر حساسية ؟
- ٨ - اشرح كيف يمكن قياس الانفعال الاستاتيكي والانفعال الديناميكي بأجهزة قياس الانفعال بالمقاومة الكهربية؟
- ٩ - بين كيفية تثبيت أجهزة قياس الانفعال الميكانيكية والضوئية بعينات الاختبار؟ وضح إجابتك بالرسومات ؟

- ١٠ - لماذا تعتبر أجهزة قياس الانفعال بالمقاومة الكهربية أكثر تفصيلا ودقة وحساسية عن أجهزة قياس الانفعال الميكانيكية والعضوية؟
- ١١ - اذكر مزايا وعيوب أجهزة قياس الانفعال الميكانيكية والعضوية؟
- ١٢ - هل توجد عيوب لأجهزة قياس الانفعال بالمقاومة الكهربية؟ بين كيف يمكنك تجنب هذه العيوب حتى لا تؤثر على دقة نتائج الانفعال المقاسة؟
- ١٣ - اشرح كيف يمكن معايرة أجهزة قياس الانفعال؟