الباب الثالث

مقاييس الانفعال

(STRAN GAGES)

مقدمة

أولا — المقاييس الميكانيكية للانفعال

ا — المقاييس ذات الأذرع

— المقاييس ذات الترس والقرص المدرج

— المقاييس ذات الذراع والترس

ثانيا — المقاييس الضوئية للانفعال

ثالثا — المقاييس الكهربية للانفعال

ا — مقاييس الانفعال باستخدام المحاثة الكهربية

ب — مقاييس الانفعال باستخدام السعة الكهربية

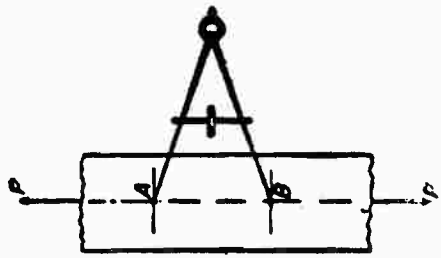
جـ — مقاييس الانفعال باستخدام المقاومة الكهربية

١ — المقياس غير المتماسك مع الجسم المختبر

٢ — المقياس السلكى المتماسك مع الجسم المختبر

مقدمة

مقـاييس الانفعال هى الأجهزة المستخدمة فى قياس التشـكل الطولى (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 فى طول القياس كما يلى :



شكل رقم (٣ — ١) طول قياس A-B

الانفعال = (التشكل الطولى ÷ طول القياس) . ويكون الانفعال بالشد أو الضغط تبعاً لحالة التشكل فى طول القياس إن كانت بالزيادة أو النقصان على التوالى .

وتوجد أنواع متعددة من هذه المقاييس ، منها المقاييس الميكانيكية والمقاييس الضوئية كما أن من أجهزة قياس الانفعال ما يحدد قيمة الإنفعال مباشرة مثل مقاييس المقاومة الكهربية . كما يمكن قياس الانفعال بتغطية سطح الجسم المختبر بطبقة طلاء من مادة قصفة (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 .

أولا — المقاييس الميكانيكية للانفعال

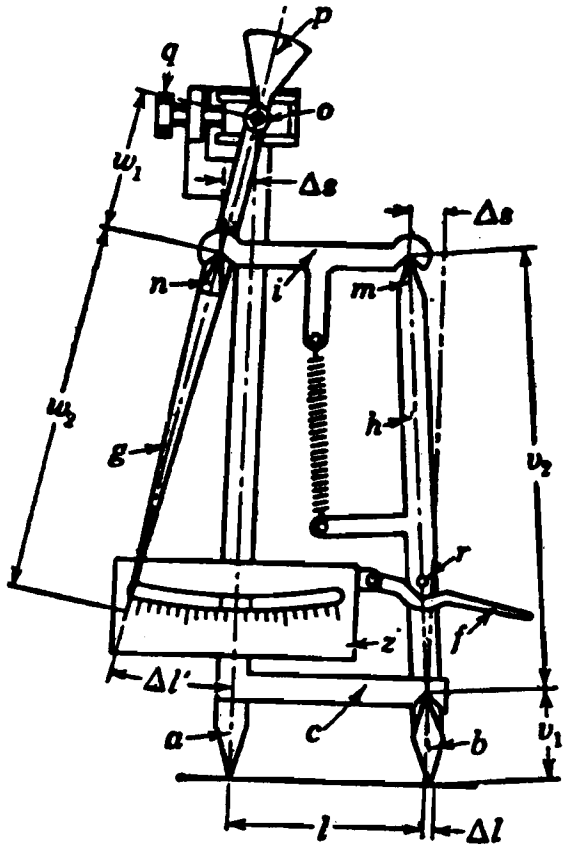
(MECHANICAL STRAIN GAGES)

تتلخص نظرية عمل هذه الأجهزة فى أنها تقوم بتكبير التشكل الحادث وذلك ميكانيكياً عن طريق مجموعة من الأذرع (Levers) والتروس (Gears). ويلاحظ أن التشكل الطولى فى المنشآت والمكنات 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 فى الاختبارات المختلفة ، وتعتبر أكثر مناسبة فى بعض الحالات . ومن مزايا هذه الأجهزة أنها ذات اكتفاء ذاتى أى لا تتطلب أى 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 الطولى محدود لا يزيد عن ٢٠٠٠ مرة كما أنها لا تصلح لقياس الانفعال الناتج من الحمل الديناميكى مثل حالة دراسة الصدم والاهتزازات .

وهذه الأجهزة ينقصها الدقة أحياناً نتيجة عوامل لا يمكن تلافيها وهى الوزن والقصور الذاتى والاحتكاك ومدى قابلية أجزائها للانثناء (Flexibility) وعدم فاعلية الحركة . ويمكن تقسيم هذه الأجهزة إلى الأنواع الرئيسية الآتية :

١ — المقاييس ذات الأذرع : (Levr Gages) .

يكون التكبير الميكانيكى عن طريق ذراع أو ذراعين أو عدة أذرع ومن أمثلة هذا النوع من الأجهزة جهاز « هو جنبر جر » (Huggenberger) كما هو مبين بالشكل رقم (٣ — ٢) والشكل رقم (٣ — ٣) وهو منتشر الاستعمال فى تحليل الإجهادات (Stress Analysis) نظراً لصغر حجمه وتكبيره المناسب للتشكل الطولى



شكل رقم (٣ - ٢) جهاز هوجنبرجر لقياس التشكل

حيث توجد أنواع متعددة لهذا الجهاز يتراوح عامل تكبيرها من ٣٠٠ — ٢٠٠٠ وطول القياس الذى يقيس التشكل فى جهاز « هوجنبرجر » يكون ١ سم أو ٢ سم حسب النموذج كما توجد نماذج أخرى ذات طول قياس يمكن تغييره حسب الطول المطلوب باستخدام ميكرومتر ميكروسكوبى ويبين الشكل رقم (٣ — ٢) أجزاء جهاز « هوجنبرجر » حيث يتضح أن التكبير للتشكل الطولى يتم على دفعتين .

ويكون عامل التكبير كالآتى :

التشكل الطولى . $= \Delta L$

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

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

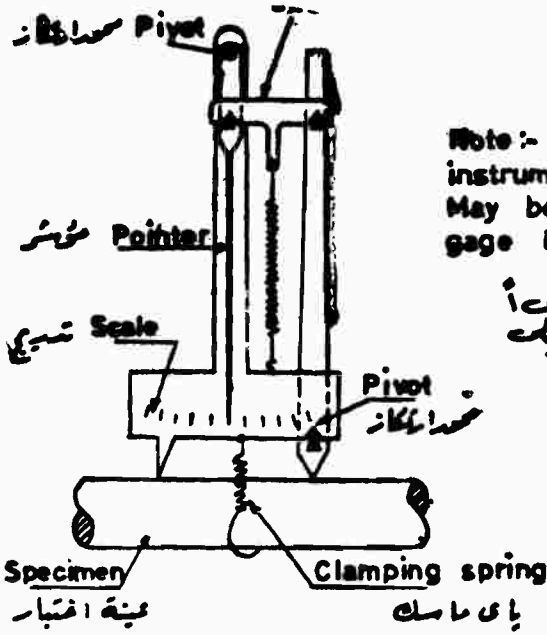
$$\text{but } \Delta S = \Delta L \cdot (V_2/V_1)$$

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

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

حيث W_1 ، W_2 ، V_1 ، V_2 هى قيم المسافات المبينة بالمقياس على الشكل رقم (٣ — ٢) وهى أذرع المقياس .

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



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

ملحوظة : يؤخذ عادة طول القياس أ وبمكن تعديله ليناسب أطوال من ½ إلى ٨"

SCHEMATIC DIAGRAM OF HUGGENBERGER TENSOMETER.

بيانى تخطيطى لمقياس الاستطاله "هوجنبرجر"

شكل رقم (٣ — ٣)

ب — القاييس ذات الترس والقرص المدرج : (Dial and gear gages)

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

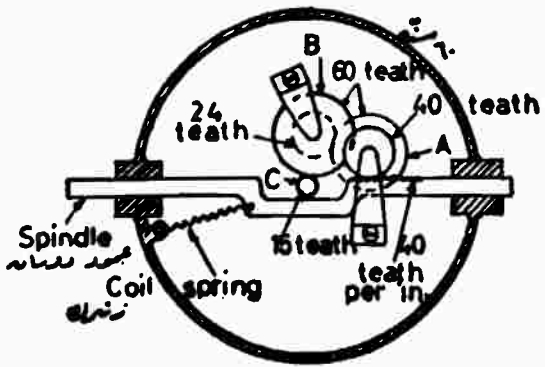
For 1 inch spindle movement :-

A rotates once
B rotates 60/24 of A
C rotates 60/15 of B or
60/15 × 60/24 = 10 A

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

لتحريك محور المدرج أ
ك تتعدد مرة واحدة
ب يتدور ٢٤/٦٠ مرة ك
حـ يتدور ١٥/٦٠ مرة ب
أو ١٠ ك = ٢٤/٦٠ × ١٥/٦٠ ك

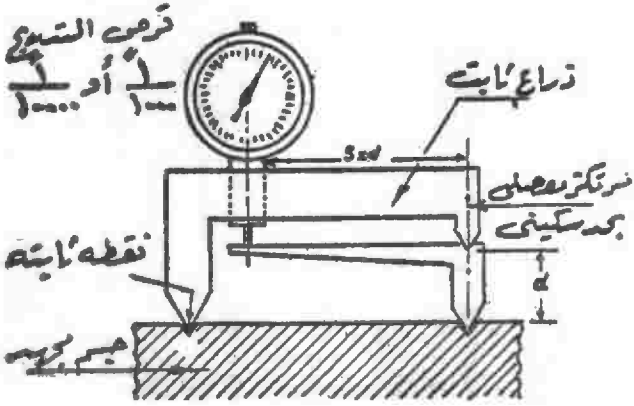
ولذلك تلاحظ رؤية واحدة من حـ (التعبئة بالمؤشر) = ٠,١ مم حركة محور المدرج.
والقرص مدرج الى ١٠٠ جزء.
واصغر قسم على القرص = ٠,١ ÷ ١٠٠ = ٠,٠٠١ من حركة محور المدرج



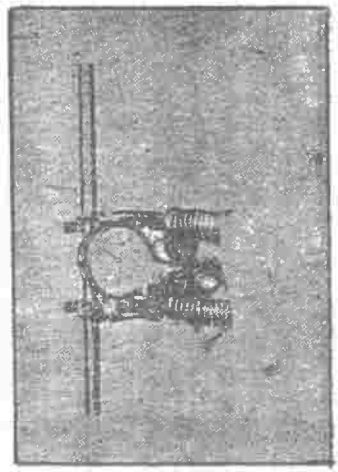
TYPICAL DIAL_INDICATOR MECHANISM

آليه المبين ذو القرص المدرج

شكل رقم (٣ — ١)



شكل رقم (٣ - ٦) مقياس الذراع والترس



شكل رقم (٣-٥) مقياس الترس والقرص المدرج

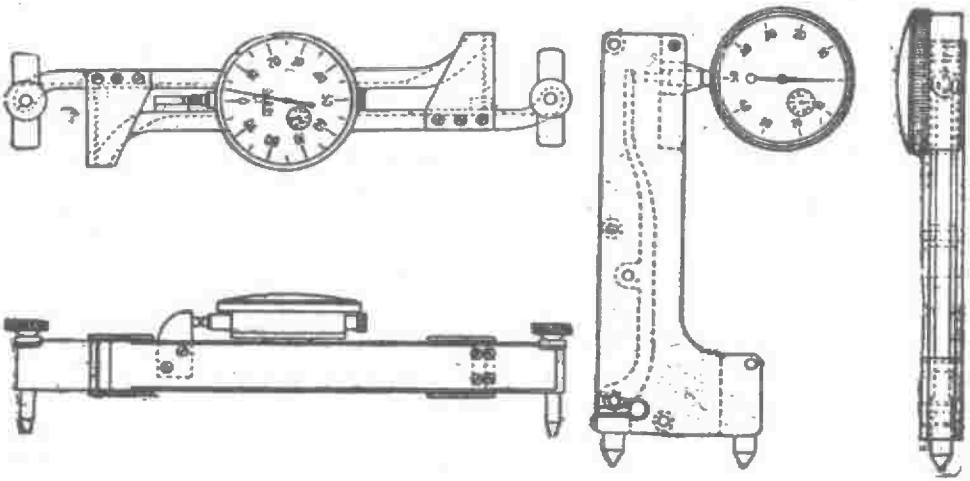
وتستخدم هذه الأجهزة كثيراً فى الاختبارات العملية حيث يحسن القراءة الواضحة المباشرة التى يبينها القرص المدرج للجهاز . كما تستخدم لقياس انحناء الكمرات والإطارات وخاصة تحت ظروف التشغيل حيث يقاس التشكل الناتج من الحمل العادى ومن الحمل الزائد (Overload) .

ومن أمثلة هذه الاجهزة قرص « ايمس » (Aimes Dial) المبين بالشكل (٣-٥)

جـ — المقاييس ذات الذراع والقرص : (Lever and Gear gages)

يكون التكبير الميكانيكى للتشكل عن طريق ذراع وترس وتبين قيمة ذلك التشكل على قرص مدرج ، أى أن التكبير الميكانيكى للتشكل يحدث بالجمع بين الطريقتين المبينتين بالبندين السابقين ا ، ب . ومن أمثلة هذه الاجهزة ماهو مبين بكل من الاشكال (٣ — ٦ ، ٣ — ٧ ، ٣ — ٨) .

ويتميز هذا النوع من الاجهزة 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 فى وقت واحد وبجهاز واحد برفعه يدوياً وبوضعه فى كل علامتين من مكان إلى آخر .

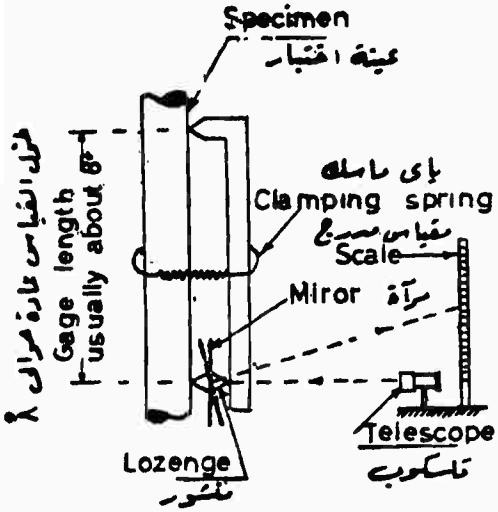


شكل رقم (٣ ـ ٧) مقياس الذراع والترس

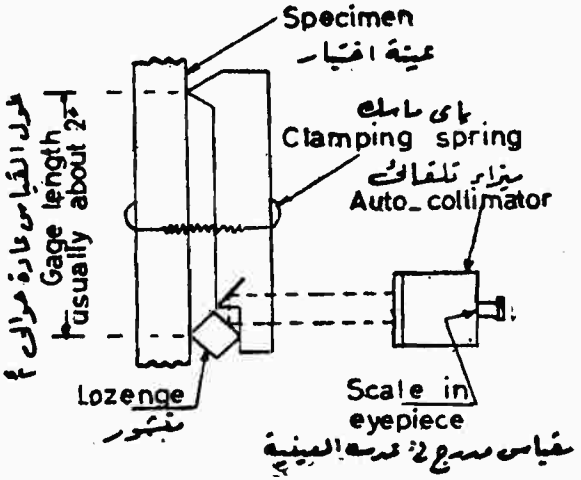
شكل رقم (٣ ـ ٨) مقياس الذراع والترس

ثانيا — المقاييس الضوئية للانفعال
(OPTICAL STRAIN GAGES)

يتكون جهاز قياس الانفعال الضوئى من أذرع ميكانيكية ومرايا وعدسات ضوئية حيث يلبث السطح العاكس للضوء (المرآة) مرتكزاً على ذراع مركب على طول القياس بالجسم المختبر ، فاذا حدث تشكل فى طول القياس فان ذلك يتسبب فى دوران السطح العاكس للضوء . وإذا أرسلت أشعة ضوئية لتسقط على السطح العاكس وترتد على مقياس مدرج بالجهاز فان مقدار حركة الأشعة نتيجة دوران السطح العاكس التى يبينها المقياس المدرج تعبر عن التشكل فى طول القياس أى تمثل قيمة ذلك التشكل مكبراً بتلك الطريقة الضوئية باستخدام مرآة أو مرآة ومنشورات . ويستخدم عادة تلسكوب لتوضيح القراءة . وأجهزة قياس الانفعال الضوئية تعتبر من الاجهزة الدقيقة ذات الحساسية العالية. ومن أمثلة مقاييس الانفعال 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 لاجهزة



Marten extensometer
مقياس الاستطالة مارتن

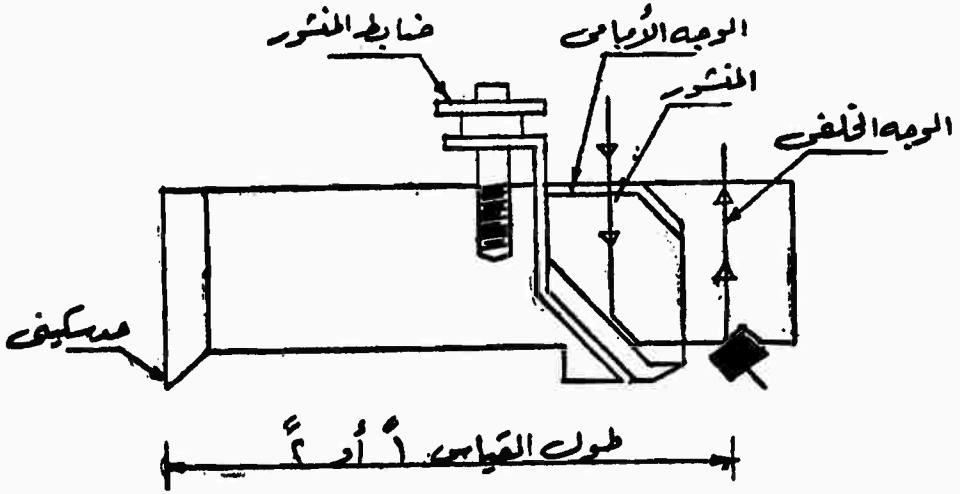


Tuckerman optical strain gage
مقياس الانفعال الضوئى "تكرمان"

MIRROR OR "LIGHT_LEVER" EXTENSOMETERS

مقاييس الأستطالة ذات المرآة أو "الرافعة الخفيفة"

شكل رقم (٣ - ٩)

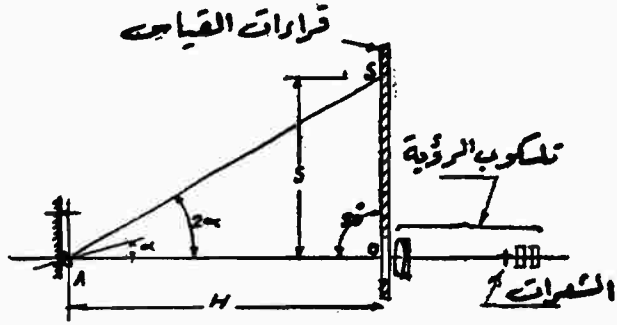


مقياس "تكرمان" للانفعال

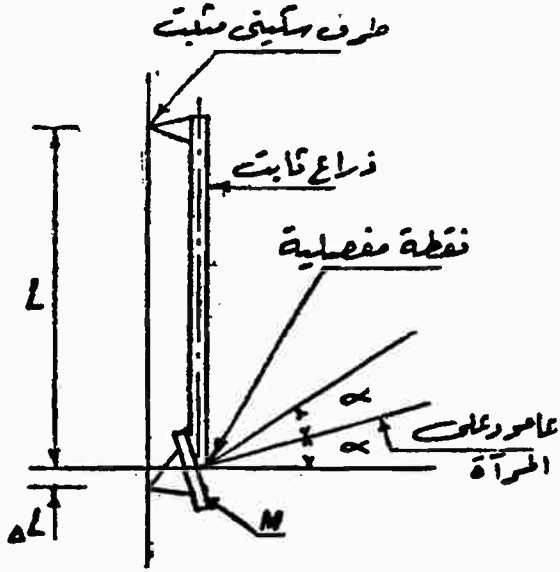
شكل رقم (٣ - ١٠)

القياس ومعدات الاختبار . والمقياس ذو الثلاث مرايا مثل مقياس تكرمان (Tuckerman gage) وهو أكثر دقة وأسهل تشغيلا من المقياس ذو المرآتين كما يتبين ذلك من الشكلين (٣ — ٩) والشكل (٣ — ١٠) .

ويحدث تكبير للشكل الطولى 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 الانفعال الضوئى ذو المرآة الواحدة



شكل رقم (٣ -١٢) مقياس الانفعال الضوئى ذو المرآة الواحدة

فالمرآة M مثبتة على مرتكز ذى 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 . وبالتالى تحدث حركة دوران للمرآة . وباستخدام تلسكوب ليحدد قراءات مقياس الجهاز فان الفرق 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 :

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

حيث :

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

ثالثا ـ المقاييس الكهربية للانفعال

يمكن تقسيمها لثلاثة أنواع :

(أ) مقاييس الانفعال بالمحاثة الكهربية Inductance S.G.

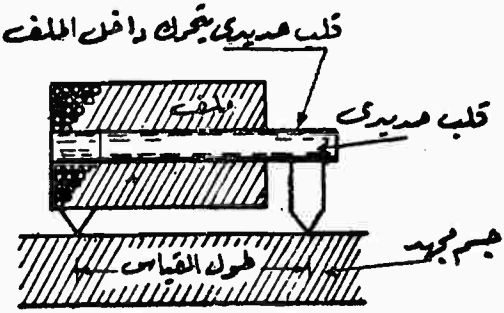
(ب) مقاييس الانفعال بالسعة الكهربية Capacitance S. G.

(حـ) 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 تتعدد مثل كبر حجم المقياس وصعوبة التشغيل والتناسب بين كل من المحاثة والسعة والانفعال فى مدى صغير فقط .

١ — مقاييس الانفعال باستخدام المحاثة الكهربية : (Inductance S. G.)

يتكون المقياس شكل رقم (٣ — ١٣) من هـذا النوع من ملف ذى قلب من الحديد (Iron Cored Coil) يمكن أن تتغير محاثته . وهذا التغير فى المحاثة يمكن أن يجرى بتغيير الثغرة الهوائية فى دائرة المغناطيسية (Flux Circuit) أو بتحريك الحافظة



مقياس الانفعال بالمحاثة الكهربائية

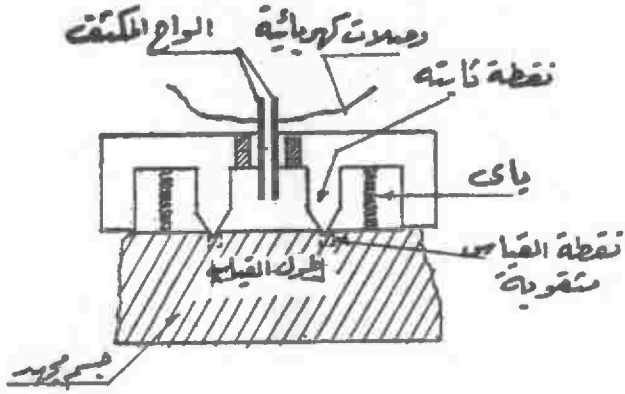
شكل رقم (٣ — ١٣)

الحديدية (Armature) فى الملف. وإذا وصل هذا المقياس بمنشأ وحمل المنشأ فان الانفعال الناتج سيتسبب فى تغير الثغرة الهوائية (Air Gap) أو حركة الحافظة الحديدية، ويمكن تحديد التغير الناتج فى المحاثة والذى يمثل بدوره الانفعال الذى حدث بتوصيل المقياس بدائرة محاثة (Inductance Bridges) بها فولتامتر فى حالة الأحمال الاستاتيكية أو مرسم أشعة الكاثود (Cathode - Ray - Oscilograph) فى حالة الأحمال الديناميكية وذلك لبيان جهد عدم الاتزان (Out - of - balance Potential) فى الدائرة .

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

ب — مقاييس الانفعال باستخدام السعة الكهربية : (Capacitance S. G.)

شكل (رقم ٣ — ١٤)



شكل رقم (٣ - ١٤) مقياس الانفعال بالسعة الكهربية

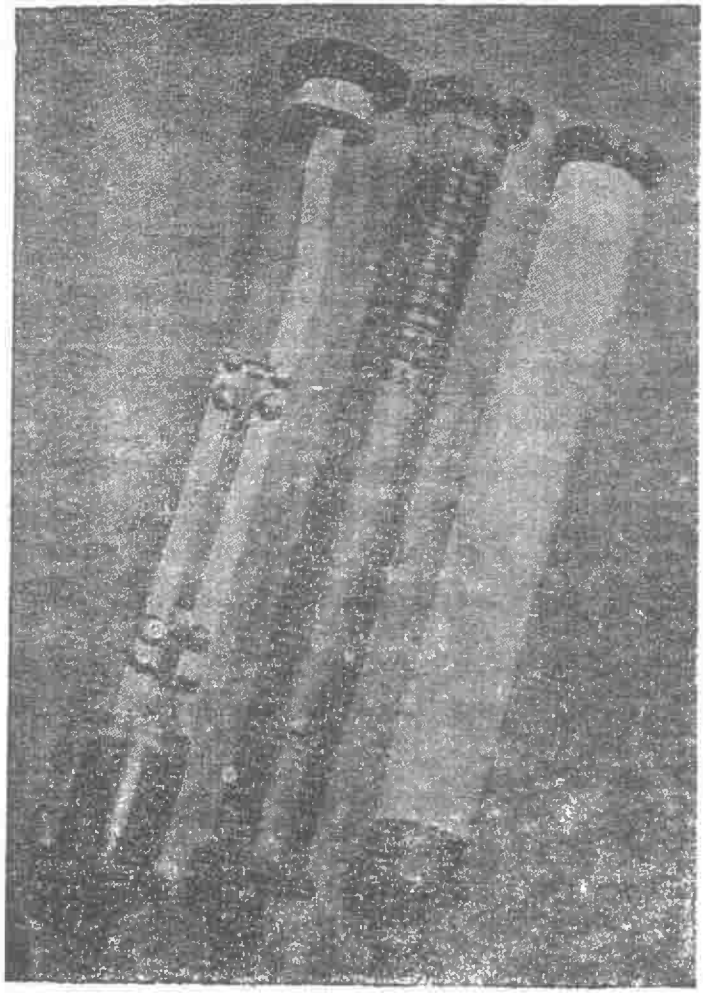
إذا تغيرت المسافة بين ألواح مكثف أو تغيرت مساحتها تحت تأثير إنفعال فان سعة هذا المكثف تتغير ، وهذا التغير يمكن اعتباره مقياساً للإنفعال ويمكن قياسه خلال دائرة لقياس السعة (Capacitance Bridge) حيث يقاس عدم الاتزان الناتج بواسطة فولتا متر أو بواسطة مرسم أشعة الكاثود ، ويكون التغير فى السعة نتيجة لتغير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

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

جـ - مقاييس الانفعال باستخدام القوة الكهربية

١ — المقياس غير المتماسك مع الجسم المختبر (Unbonded Gage)

ويسمى مقياس « كارلسون » (Carlson Cage) شكل رقم (٣ — ١٥) . ويعتمد هذا المقياس على التغير فى المقاومة الكهربية لسلك من الصلب نتيجة لتغير الشد فيه . وقد أنشأ هذا المقياس « كارلسون » سنة ١٩٢٥ وذلك بلف سلك فى ثلاثة ملفات . الأول منها عبارة عن ملف لا يتأثر بحركة المقياس والآخرين يتغير مقدار الشد فيها بحركة المقياس تغيراً عكسيا فى كل منها . فمثلا لحركة معينة للمقياس يزيد الشد فى أحد الملفين بينما ينقص فى الثانى. ويعطى التغير فى المقاومة المقاس بدائرة



شكل رقم (٣ — ١٥) مقياس كارلسون

« هويتسيون » دلالة للانفعال الذى حدث .

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

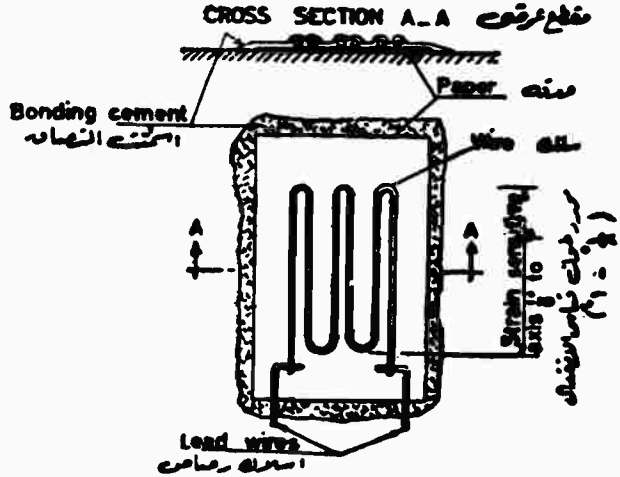
٢ — المقياس السلكى المتماسك مع الجسم المختبر (Bonded Wire Gage)
شكل رقم (١٦ — ١) .

ويطلق عليه مقياس الانفعال بالمقاومة الكهربية (Electical Resistance Strain Gage) ويتكون جهاز الانفعال بالمقاومة الكهربية من سلك قصير بشكل معين موضوع بين طبقتين دقيقتين من الورق أو القماش أو البلاستيك يلصق على الجسم المختبر لصقاً تاماً بحيث إذا حدث انفعال بالجسم فانه ينتقل تماماً إلى الجهاز ويحدث به نفس الانفعال الذى يسبب بالتبعية تغير فى المقاومة الكهربية للسلك . وحيث أنه من المعلوم أن التغير فى الطول لأى سلك مقسوماً على الطول الأصلى (أى قيمة الانفعال) يتناسب مع قيمة التغير الحادث فى المقاومة الكهربية للسلك (نتيجة تغير طوله أو تغير مقطعه المستعرض) مقسوماً على المقاومة الكهربية الأصلية للسلك ، أى أن الانفعال يتناسب تناسباً مباشراً مع التغير فى المقاومة . لذلك يمكن تحديد قيمة الانفعال بقياس هذا التغير بجهاز مناسب كمقياس المقاومة الكهربية .

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

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

وجهاز القياس هذا قد يكون بسيطاً مثل پوتنشيومتر (Potentiometer)



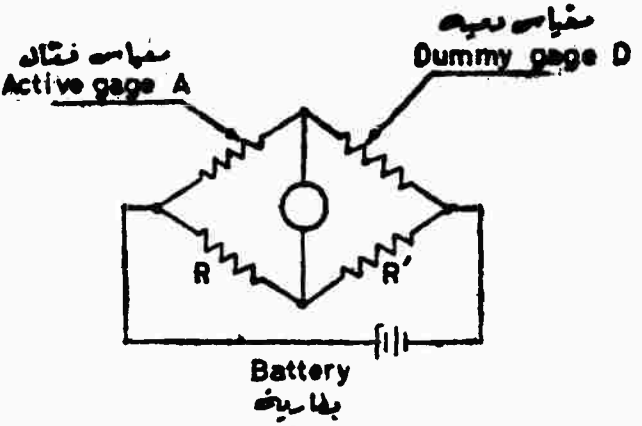
SCHEMATIC DRAWING OF BONDED TYPE SR-4 ELECTRIC STRAIN GAGE.

رسم توضيحى لمقياس الانفعال الكهربائى

(شكل رقم (٣ - ١٦)

أو دائرة هويتستون أو جلفانومتر حساس أو مبين انفعال إلكترونى أو مسجل تخطيطى (Graphic Recorder) أو مرسم ذبذبات (Oscillograph) فى حالة الأحمال الديناميكية .

فاذا علمت أو عينت مقاومة سلك الجهاز R ثم قيست المقاومة الكهربية السلك بعد تحميل الجسم المختبر وحدوث انفعال به وكانت R_1 وذلك باستخدام دائرة هويتستون (شكل ٣ — ١٧) فيمكن حساب التغير فى مقاومة السلك نتيجة التحميل



WHEATSTONE — BRIDGE HOOKUP

دائرة هويتستون

شكل رقم (٣ — ١٧)

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

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

وعلى ذلك يمكن حساب قيمة الانفعال كالآتى :

$$\text{Strain} = \frac{R_1 - R}{R} \times \text{gage factor}$$

$$= \Delta R/R \times \text{G. F.}$$

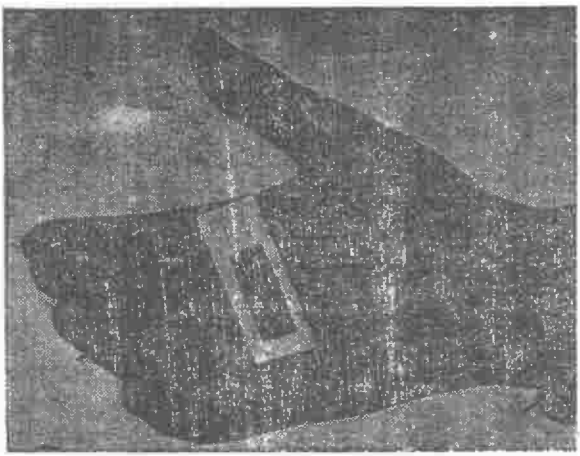
$$= \Delta R \times (\text{G .F .} / R)$$

كما يوجد جهاز مساعد يبين الإنفعال مباشرة ويسمى المبين للإنفعال (Srain Indicator) شكل رقم (٣ — ١٨) . يحدد مقاومة السلك R أو R_1 مضروبة فى ثابت الجهاز (G. F. / R.) أى بأخذ قراءتين على الجهاز المبين للانفعال قراءة قبل تحميل الجسم المختبر والتى تساوى (G. F. / R.) × وقراءة بعد التحميل والتى تساوى (G. F. / R.) × R_1

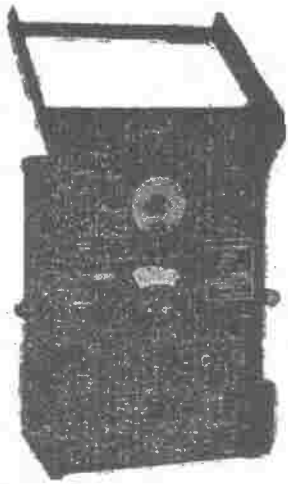
وفرق القراءتين ΔR (G. F. / R.) = (G . F. /R) × $(R_1 - R)$ يعطى قيمة الإنفعال الناتج من تأثير التحميل .

وقد عملت أجهزة قياس الإنفعال بالمقاومة الكهربية لأول مرة بأمريكا سنة ١٩٤٩ وسمى الجهاز (S R_4) ، أى بالحروف الأول لكل من العالمين Simmons و Ruge الذين قاما بوضعه موضع التنفيذ فى قياس الإنفعال . ثم انتشرت وتنوعت صناعة تلك الأجهزة فى مختلف الدول . وتتميز 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 المكنات الدقيقة المختلفة التى لا يمكن لها استخدام أجهزة قياس الانفعال الميكانيكية أو الضوئية .



شكل رقم (٣ — ١٩) مقياس إنفعال بالمقاومة الكهربية



شكل رقم(٣-١٨) الجهاز المبين للانفعال

ب ــ قياس الانفعال مباشرة من قياس التشكل الطولى للجسم المختبر كما هو الحال فى الأجهزة الميكانيكية والضوئية .

جـ ــ سهولة الاستعمال بلصقها على الجسم المختبر وخصوصاً على الأسطح غير المستوية التى لا يتمكن من تركيب الأجهزة الميكانيكية أو الضوئية عليها وسهولة تحديد الإنفعال بأخذ قراءات مباشرة على مقياس موجود بجهاز بيان الانفعال .

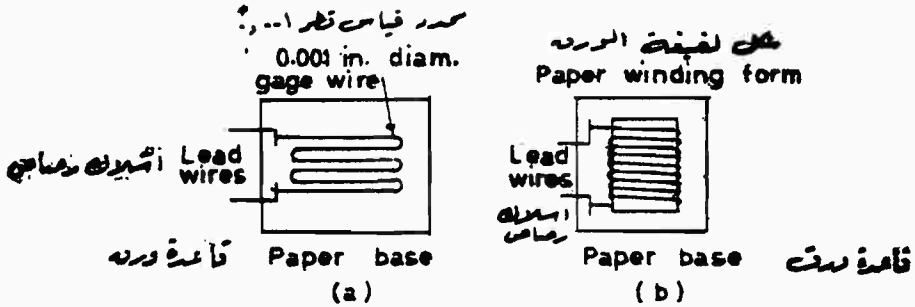
د ــ وجود حساسية عالية لهذه الأجهزة حيث يمكنها بيان الانفعال لغاية ١٠ $^{-٦}$مم/مم وهذه الحساسية لا يمكن أن تصل إليها الأجهزة الميكانيكية أو الضوئية .

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

أجزاء المقياس :

يتكون المقياس من سلك على هيئة شبكة (Grid) تأخذ أشكالا مختلفة (أشكال رقم ٣ ــ ٢٠ ، ٣ ــ ٢١) وتوضع هذه الشبكة بين ورق رفيع جداً أو قماش رقيق أو بلاستيك ، ويتراوح طول المقياس بين ¼ من البوصة ، ٦ بوصات (حوالى ١,٥ إلى ١٥٠ مم) .

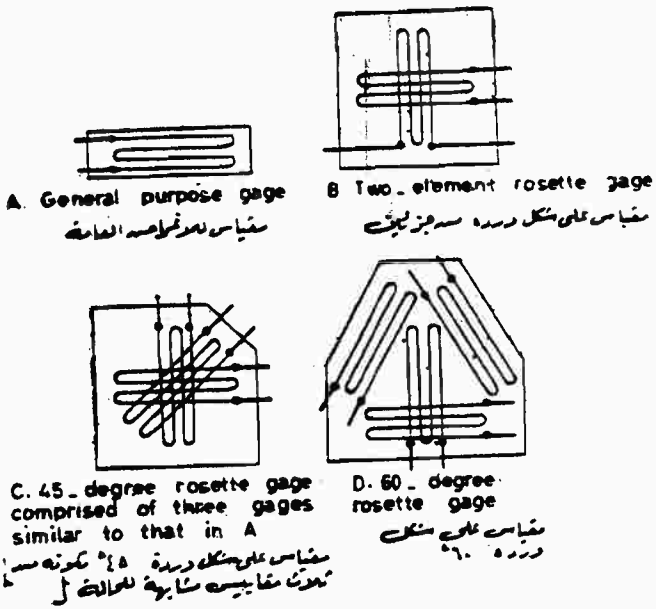
ولحماية شبكة السلك أثناء الاستعمال من اختلاف درجات الحرارة يوضع غطاء من اللباد فوق المقياس فى معظم الأحوال . وتنتهى الشبكة بطرفى توصيل لتوصيلها بدائرة القياس الخارجية ، ويلاحظ أن مساحة مقطع أطراف التوصيل أكبر بكثير من مساحة مقطع سلك الشبكة حتى يمكن لحامها بدائرة القياس ، وفى نفس الوقت تكون مقاومتها صغيرة 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 السلكى الملتصق ، شبكه مستويه
(ب) " " " " ، ملف لولبى

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 فى أسلاك الشبكة .

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

ـــ المادة التى يصنع منها سلك المقياس (Filament) .

ـــ المادة التى يصنع منها القاعدة الحاملة للسلك .

ـــ اللاصق الذى يربط السلك مع القاعدة الحاملة له .

ـــ تصميم سلك المقياس وأطراف التوصيل .

وبالإضافة إلى هذه المتغيرات الأساسية يوجد الاختلاف فى الأبعاد والاختلاف فى شكل الشبكة السلكية (Grid pattern) والاختلاف فى المقاومة الكهربية وتوجد كذلك مقاييس متعددة (Multi - element gages) تركب على حامل واحد .

والمادة التى يصنع منها السلك هى المتغير الرئيسى ، وبما أن الكمية التى تقاس فعلا هى التغير فى المقاومة فانه يكون من الواضح أن تكون النسبة بين التغير فى المقاومة والتغير فى الانفعال أكبر ما يمكن . وهذه النسبة (أوم/ أوم مقسومة على بوصة / بوصة) تعرف بعامل المقياس (Gage factor) فاذا كانت هذه النسبة نتيجة التغير فى الأبعاد فقط فانه غالباً يكون عامل المقياس لأى سلك حوالى ٢ , ١

وعند اختيار أنسب المواد لعمل سلك المقياس يراعى شدة حساسيتها للانفعال (Strain Sensitivity) ومقاومتها الكهربية الكبيرة بدرجة معتدلة (أى لا تكون صغيرة جداً) . كما يجب أن يكون معامل تغير مقاومتها الكهربية مع الحرارة صغيرا لتلافى الخطأ الناتج عن تغير المقاومة نتيجة لتغير درجات الحرارة ويجب أن تكون العلاقة بين الانفعال والمقاومة خطية حتى قيم كبيرة للانفعال .

ولهذا فان المادتين اللتين تستخدمان فى صنع المقاييس المعروفة تحت اسم (S R 4) (وهى أكثر المقاييس شيوعاً) هما سبيكة من النحاس والنيكل ولهذه السبيكة عامل مقياس حوالى ٢ وسبيكة أخرى من النوع ثابت المرونة (Iso-Elastic) لها عامل مقياس حوالى ٣,٥ .

ويمكن القول بأن اختيار أى من هذه المقاييس مسألة يقوم بتحديدها المستعمل للمقياس . فمثلا عند ما يكون الانفعال ثابتاً لفترة من الوقت ثم يتغير لفترة أخرى

(كما يحدث فى التحميل المتزايد) فانه يكون من المستحسن أن نستخدم مقياسا منخفض الحساسية للتغير فى درجات الحرارة ، حتى ولو كان ذلك على حساب الحساسية للانفعال وبذلك يكون من المناسب استخدام مقياس ذى سلك من سبيكة النحاس والنيكل .

أما فى الاختبارات التى يتغير فيها الانفعال بسرعة والتى تكون فترة الاختبار فيها قصيرة ولا يكون هناك تغيرات تذكر فى درجة الحرارة فانه يصبح فى الإمكان الإستفادة من ميزة المقاييس المصنوعة من مادة ثابتة المرونة على الرغم من حساسيتها لتغير درجات الحرارة . كما أنه إذا أريد قياس الانفعالات فى أكثر من اتجاه فيمكن إستخدام المقاييس المتعددة الموجودة على قاعدة حاملة واحدة لسهولتها .

المادة اللاصقة للمقياس على سطح الجسم المختبر :

توجد مجموعتان أساسيتان لهذه المواد وهما :

١ — نتروسليولوز (Nitrocellulose Cement)

٢ — راتنج الفينول (Phenol Resins) وتصلح فى الاختبارات عند درجات الحرارة المرتفعة .

ويلزم أن تكون المادة اللاصقة ذات أثر فعال بعد تثبيت المقياس بها وجفافها فى مدة حوالى 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 تنعم باستخدام « صنفرة » متوسطة الخشونة ، وإذا كان السطح ناعماً جداً ومصقولا فيجب تخشينه بصنفرة متوسطة الخشونة 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 بالاصبع. ويطلى 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 وتترك حتى تجف المادة اللاصقة . وتتراوح المدة اللازمة للجفاف بين ٢٤ ، و٤٨ ساعة ، وفى الحالات التى تتطلب جفافاً أسرع من ذلك يترك المقياس والسطح المختبر ليجف مدة ساعتين فى درجة حرارة المعمل ثم يجف بعد ذلك بالتدريج عند درجات حرارة أعلى (لا تزيد عن ٩٠°م) وذلك لمدة ٥ ساعات. وإذا كان يخشى من تأثير الرطوبة أو إذا كان الاختبار سيتم إجراؤه تحت سطح الماء فيجب فى هذه الحالة تغطية المقياس بمادة عازلة للماء كالشمع مثلا .

وجدير بالذكر أن حماية مقياس الانفعال من الرطوبة ذات أهمية خاصة نظراً لأن الرطوبة تغير أبعاد الملصق وبذلك تتغير المقاومة الكهربية بسبب الانفعالات التى تنتج على السلك ، كما تسبب الصدأ الكيميائى الكهربائى للسلك نتيجة التحليل الكهربائى مما يتسبب فى ارتفاع المقاومة الكهربية 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 الكهربية للمقياس باستعمال أوميتر ويجب ألا تتغير قيمة المقاومة بأكثر من ١٪ من القيمة المكتوبة وإلا فيجب تغيير المقياس بالآخر .

وأنواع أجهزة قياس الانفعال بالمقاومة متنوعة منها :

S - R$_4$ Gage, British Calenese gage
British thermostat gage, De haviliand gage
Rotol gage, Tinsley gage, Tepic gage, Philips gage, ... etc.

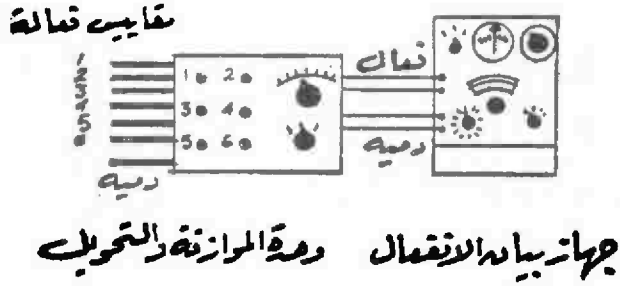
طريقة قياس الانفعال الاستاتيكى

يقاس الانفعال الاستاتيكى باستخدام جهاز بيان الانفعال (المحتوى على دائرة هو يتستون لموازنة المقاومة الكهربية) 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 لأى تحميل بالذراع الآخر للدائرة ويسمى المقياس الدمية (Dummy gage) شكل رقم (٣ — ١٧) حتى يمكن إزالة تأثير الحرارة الجوية على القراءات وذلك

باجراء التعادل لتغير المقاومة فى المقياس الفعال الناتجة من الحرارة مع نفس التغير فى المقاومة الحادث فى المقياس الدمية حتى تكون القراءة على جهاز بيان الانفعال تعبر عن التغير فى المقاومة للمقياس الفعال نتيجة التحميل فقط ، ويمكن قياس الانفعال فى أكثر من مكان بالجسم المختبر باستخدام أكثر من مقياس تلصق فى تلك الأماكن وتوصل بجهاز مساعد يسمى وحدة الموازنة والتحويل (Balancing & Switching unit) والتى تتصل بدورها بجهاز بيان الانفعال (Strain Indicator) كما يتبين من الشكل رقم (٣ — ٢٢) حيث يمكن أخذ قراءة مقياس واحد فقط التى 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 قراءتى كل مقياس فى جميع نقط 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

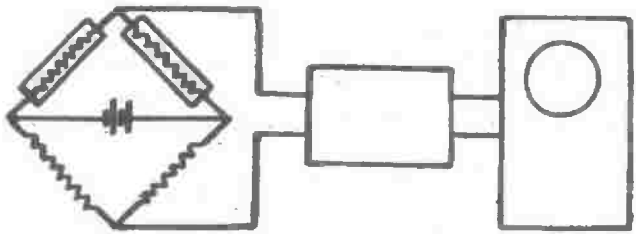


قياس الانفعال الأستاتيكى
شكل رقم (٣ — ٢٢)

طريقة قياس الانفعال الديناميكى :

ويقاس الانفعال الديناميكى بنفس الطريقة السالفة الذكر — ولكن باستخدام دائرة هويتستون يتبعها مكبر (Amplifier) كما فى الشكل رقم (٣ — ٢٤)

ليكبر التغير فى المقاومة ثم يلى المكبر جهاز بيان الذبذبات المبين فى شكل رقم (٣ — ٢٥) (Cathode Ray Oscillograph) والذى يحل محل الجلفانومتر (Galvanometer) فى حالة الانفعال الاستاتيكى حيث يبين هذا الجهاز الإشارة الكهربية الناتجة من الانفعال الميكانيكى والتى تعبر عنه .



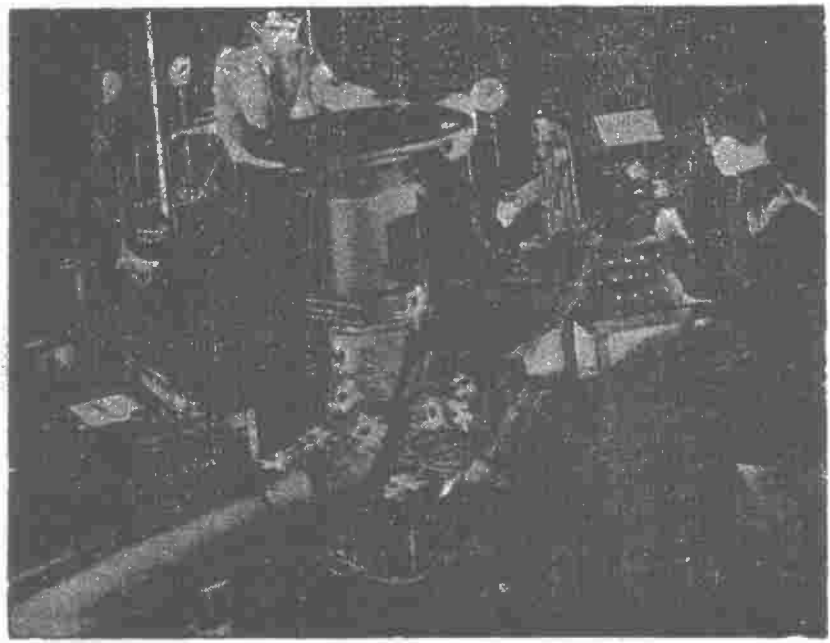
شكل رقم (٣ — ٢٤) قياس الانفعال الديناميكى

استخدام مقياس الانفعال بالمقاومة الكهربية

وتستخدم أجهزة قياس الانفعال بالمقاومة الكهربية استخدامات عديدة مثل تحليل الإجهادات للمكنات والطائرات والمنشآت المتنوعة كالكبارى والقناطر والسدود والعربات وقاطرات السكك الحديدية ومعدات التسليح والصواريخ وأية أعمال أخرى يراد تعيين الانفعال بها وخصوصاً أثناء التشغيل ، وكذلك فى الدراسات الخاصة بالمواد المختلفة مثل المعادن والبلاستيك والخشب والخرسانة ... الخ.

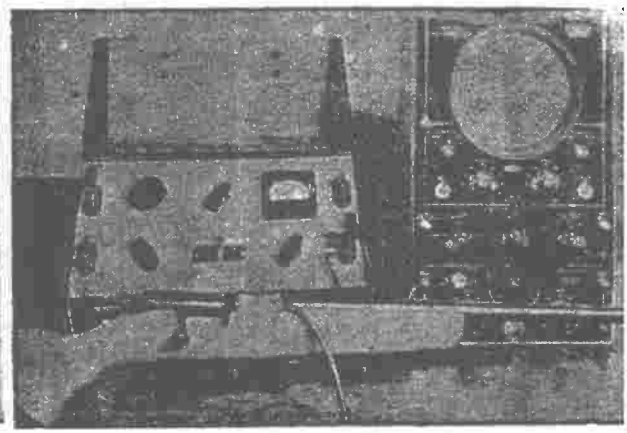
شكل رقم (٣-٢٥) جهاز بيان الذبذبات

كما تستخدم هذه المقاييس فى درجات حرارة تتراوح بين — ٤٠°م ، ١٨٠°م وتبين الأشكال رقم (٣—٢٦ ، ٣—٢٧ ، ٣—٢٨ ، ٣—٢٩ ، ٣—٣٠) بعض الاختبارات المختلفة حيث يستخدم مقياس الانفعال بالمقاومة الكهربية فى قياس الانفعالات .



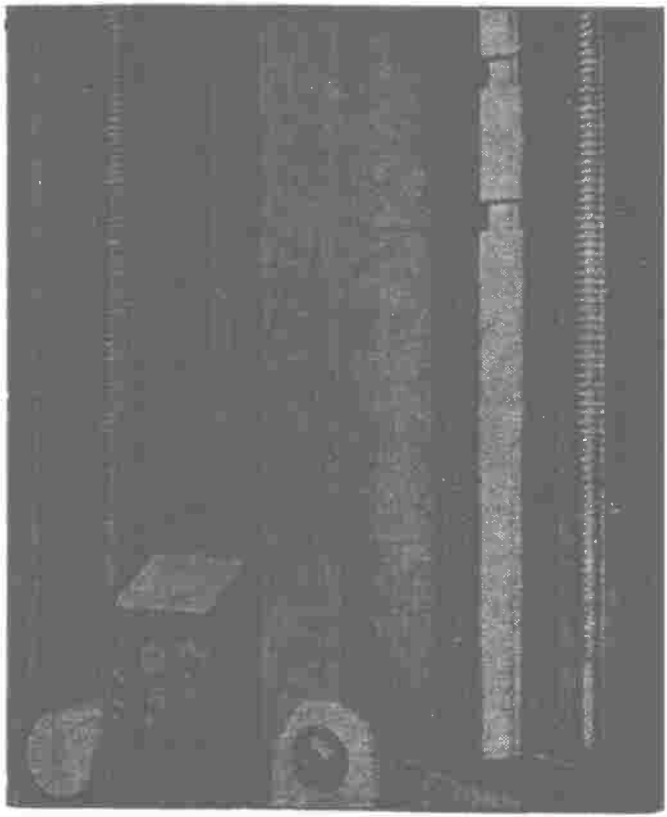
شكل رقم (٣ — ٢٦) قياس الاضمالات الموجودة بصمام وسلة مواسير

شكل رقم (٣ — ٢٨)
قياس الاضمالات الموجودة
فى الأطراف الصناعية



شكل رقم (٣ — ٢٧) قياس الاضمالات فى بندقية

شكل رقم (٣ — ٢٩) قياس الاضمالات فى كمرات خرسانية



شكل رقم (٣ — ٣٠)
قياس الاضمالات فى الخرسانة وفى حديد التسليح فى عمود خرسانى

تمرين رقم (٣)

دراسة أجهزة قياس الانفعال

المجال :

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

المناقشة :

١ ــ ما هو المقصود بجهاز قياس الانفعال ؟

٢ ــ ماهو الغرض من تحديد طول القياس عند قياس التغير فى الطول بالاستطالة أو بالانكماش؟

٣ ــ اذكر الأنواع المختلفة لأجهزة قياس الانفعال .

٤ ــ ماهى الأنواع المختلفة للأجهزة الميكانيكية لقياس الانفعال؟ ارسم تخطيطيا رسما لكل نوع مع بيان أجزائه ثم بين كيفية استخدامه لقياس الاستطالة والانكماش للعينات المختبرة ؟

٥ ــ اشرح كيف تعمل الأجهزة الضوئية لقياس الانفعال؟ وضح إجابتك بالرسومات.

٦ ــ ارسم تخطيطيا ثلاثة أنواع من مقياس الانفعال بالمقاومة الكهربائية ثم ارسم أيضاً جهاز بيان الانفعال ووحدة التحويل المستخدمة فى قياس الانفعال بمقاييس الانفعال بالمقاومة الكهربائية ؟

٧ ــ إذا كانت قراءة جهاز قياس الانفعال (أ) هى ٠,٠٠٤٧٦٥ وقراءة الجهاز (ب) هى ٠,٠٠٤٩ فى حين أن القيمة الحقيقية للانفعال هى ٠,٠٠٤٨٥ فأى من الجهازين أكثر دقة ؟ وأيهما أكثر حساسية ؟

٨ ــ اشرح كيف يمكن قياس الانفعال الاستاتيكى والإنفعال الديناميكى بأجهزة قياس الإنفعال بالمقاومة الكهربائية؟

٩ ــ بين كيفية تثبيت أجهزة قياس الانفعال الميكانيكية والضوئية بعينات الاختبار؟ وضح إجابتك بالرسومات ؟

١٠ ــ لماذا تعتبر أجهزة قياس الانفعال بالمقاومة الكهربائية أكثر تفصيلا ودقة وحساسية عن أجهزة قياس الانفعال الميكانيكية والضوئية ؟

١١ ــ اذكر مزايا وعيوب أجهزة قياس الانفعال الميكانيكية والضوئية ؟

١٢ ــ هل توجد عيوب لأجهزة قياس الانفعال بالمقاومة الكهربائية؟ بين كيف يمكنك تجنب هذه العيوب حتى لا تؤثر على دقة نتائج الانفعال المقاسة ؟

١٣ ــ اشرح كيف يمكن معايرة أجهزة قياس الانفعال ؟