الباب الأول

خواص المواد الهندسية

١- ١ مقدمة

العلوم الهندسية ما هى إلا علم وفن يعمل على استغلال المواد والموارد وقوى الطبيعة للتطور والتقدم الصناعى والتكنولوجى والعمرانى، ويعتمد هذا التقدم أساساً على المواد الهندسية المختلفة وعلى مدى التقدم فى تطويرها وتحسين خواصها لكى تواكب المجالات الهندسية المختلفة. إن المواد بصفة عامة هى عصب العلوم الهندسية المتنوعة فى ماهيتها ومقوماتها، وأصبحت موضع اهتمام للمتخصصين والباحثين لأهميتها فى خدمة البشرية فى كل المجالات المختلفة سواء كانت هندسية أو طبية أو زراعية أو غير ذلك. وعليه كان على المهندسين المتخصصين الكشف عن أسرار المواد والإحاطة بمكوناتها والتعرف على كافة خواصها.

ومن هنا يجئ دور علم "خواص ومقاومة المواد واختباراتها" ليكون أحد الأسس الرئيسية لأى نهضة تكنولوجية حديثة، ومما لا شك فيه فإن دور علم مقاومة المواد باستخدام النظريات والعلم الخالص فى دراسة العلوم الهندسية ليس بالشكل الملائم، حيث أنه يجب تنمية دور هذا العلم بالاهتمام بالنواحى العلمية النظرية مع النواحى العلمية التطبيقية الهندسية، لكى يتمكن كلا من الدارسين والمهندسين أن يجمعوا بين المبادئ العلمية والخبرة العملية اللازمين لعمل وصناعة المواد والاستفادة منها. ولكى نتمكن من الوصول إلى ذلك يجب أن يكون الباحث والمهندس على دراية كبيرة بإنشاء مواد جديدة أو تحسين مواد موجودة لاستخدامها فى مجالات متنوعة، بأن يختار مواصفات المواد اللازمة للتطبيقات التى تطلب منه، بأن يهتم بضبط جودة كل المواد المستخدمة وطرق الصناعة، بأن يكون علم تام بالخواص المختلفة للمواد المتنوعة وكذلك العلاقات بينهما وظروف استخدامها، بأن يقرر طرق الاختبار المطلوبة على المواد أو على عمليات الإنتاج لأى عناصر إنشائية تستخدم تلك المواد.

من كل ما تقدم يجب أن نعرف الدور الأساسى الذى يلعبه علم مقاومة المواد واختباراتها فى تقدم العلوم الهندسية المختلفة، وكذلك ظهور أهمية هذا العلم فى المجالات الصناعية والإنشائية حيث يختص علم خواص ومقاومة المواد واختباراتها بدراسة سلوك وخواص المواد واختباراتها تحت تأثير الأحمال المختلفة.

١-٢ دور علم خواص ومقاومة المواد

إن التطور والتقدم الهائل فى العالم أجمع هو السبب الأساس لإظهار دور علم خواص ومقاومة المواد الذى يساهم بشكل واضح فى تحقيق هذا التقدم، لأن هذا العلم يختص ويبحث فى الدراسات العلمية والتطبيقية للمواد الهندسية التى تستخدم فى كافة المجالات الهندسية إنشائية أو ميكانيكية أو كهربية أو صناعية أو غير ذلك فى جميع مجالات الحياة. إن دور هذا العلم أيضاً يتضح فى تعيين معظم خواص المواد سواء كانت مواد طبيعية أو مواد مصنعة من خواص طبيعية أو ميكانيكية أو كيميائية أو حرارية أو كهربية أو أى خواص أخرى مطلوبة، وكذلك تحديد قدرة المادة على تحمل الأحمال المختلفة لدراسة سلكوها وكيفية تطويرها للوصول بها إلى خواص مميزة جديدة. ومن هنا يتضح أن هذا العلم يختص بالعديد من الدراسات العلمية والتطبيقية للمادة فى كثير من المجالات ويتركز دور هذه الدراسات فى الآتى:

١. بحث دراسة الخواص المختلفة للمواد سواء كانت خواص طبيعية أو ميكانيكية أو كيميائية.
٢. تحليل الاجهادات والانفعالات للعناصر الإنشائية والماكينات من المواد المختلفة تحت تأثير الأحمال الاستاتيكية أو الديناميكية أو المتكررة.
٣. تحديد الخواص المميزة للمواد الهندسية وكذلك الظروف الواجب مراعاتها عند استخدامها فى أى مجال هندسي للوصول به إلى أعلى كفاءة فنية.
٤. دراسة وتحديد أنواع الاختبارات اللازمة لتعيين الخواص المميزة للمواد الهندسية للتحقيق من مطابقتها للمواصفات والاشتراطات الفنية المطلوبة لصلاحية استخدامها فى الأعمال المختلفة.
٥. تعيين الخواص الهامة المطلوبة للمواد الهندسية لدراسة مدى تحملها مع الزمن.
٦. تجهيز وتصميم الماكينات والأجهزة المستعملة فى اختبارات تعيين خواص المواد المختلفة ودراسة سلوكها تحت تأثير الأنواع المختلفة من الأحمال فى المعمل أو فى موقع العمل.
٧. عمل الدراسات الاقتصادية والفنية المختلفة لوضع أفضل الطرق لاختبار المواد الهندسية والأسلوب الأمثل لاستخدامها مفردة أو مركبة مع مواد أخرى فى الأعمال الإنشائية المختلفة.
٨. بحث دراسة تحسين خواص المواد الهندسية وذلك من الأبحاث السابقة أو أبحاث جديدة جارية وذلك لكى تلائم استخدامات أكثر فاعلية فى مجالات تطوير العلوم الهندسية المتقدمة أو الحصول على مواد جديدة ذات خواص مميزة تصلح فى مجالات آخرى متعددة ومبتكرة.
٩. تحديد ووضع خواص المواد واختباراتها فى إطار علمى محدد وذلك لضبط جودة المواد الهندسية والأعمال المستخدم بها تلك المواد وهذا بعمل مواصفات قياسية وقوانين خاصة بحماية المواد والأعمال الإنشائية.

١ – ٣ أهمية دراسة المواد الهندسية

- دراسة المواد الهندسية لها دور فعال وأهمية خاصة فى أى تقدم تكنولوجى فى جميع المجالات، ولذلك فإن المواد الهندسية هى التى تكون الكيان الرئيسي للأعمال الهندسية المختلفة. على ذلك يجب المعرفة الدقيقة لانواع المواد المختلفة وبحث دراسة خواصها وإمكانية اختبار أفضل هذه المواد وانسبها لتتماشى مع ظروف استخدامها فى جميع الأعمال الهندسية المطلوبة.

- ومن هنا نرى أن المهندسين والباحثين مع اختلاف تخصصاتهم لابد لهم من التعامل مع المواد الهندسية بقدرة وكفاءة عالية فى جميع خطوات أى عمل هندسى مطلوب تنفيذه للوصول به لأعلى المستويات التقنية والفنية.

- فمثلا فى مجالات التنفيذ والتصنيع فإن المهندسين يقوموا باستخدام المواد المختلفة فى عمل المنشأت المختلفة أو تصنيع المكينة المختلفة تحت ظروف خاصه وبطرق ملائمة، وأيضا بالنسبة لأعمال التشغيل والصيانة والمبيعات فإن المهندس يكون على علاقة مباشرة باستخدام المواد الهندسية فى كل الأعمال المطلوبة وكذلك فى أعمال التفتيش والاختبار فإن المهندس يقوم باختبار المواد وتعيين خواصها ومدى صلاحيتها قبل استخدمها فى أى من الأعمال الهندسية.

- لذلك نرى مما تقدم أن للمهندس صلة رئيسية مباشرة مع المواد بحيث أن المهندس يقوم بتحويل المواد الخام إلى منشآت مثل المبانى والكبارى والمصانع والسيارات والصواريخ وغير ذلك فى جميع المجالات، لذلك فإنه يجب على المهندس أن يكون على دراية ومعرفة تامة بالمواد وخواصها المختلفة ومدى مقاومتها للأنواع الأحمال المختلفة وكذلك مدى مقاومتها للعوامل المعرضة لها مع الزمن. لذلك يتطلب دراسة القواعد والقوانين والنظريات التى تتحكم فى اختلاف عمل المواد الهندسية وخواصها تحت تأثير العوامل المختلفة ودراسة تلك المواد الهندسية تطبيقيا وعمليا، وكذلك تتطلب متابعة البحوث العملية التى تجرى على علم خواص ومقاومة المواد واختباراتها لكى تصل بنا إلى حل أى مشاكل تقابلنا فى استخدام المواد الهندسية ومواكبة أى تطور بهذا العلم يمكن استخدامه فى أى غرض إنشائى يتماشى مع التطور والتقدم الهائل فى كل المجالات.

١-٤ تقسيم المواد الهندسية

المقصود بالمواد الهندسية أنها المواد التى تستخدم فى الأعمال والمجالات المختلفة سواء للمنشآت مثل الأحجار والطوب والمواد الأسمنتية والركام الناعم والخشن والأخشاب والبلاستك والمعادن والزجاج والمواد العازلة.....وغيرها كذلك تلك المواد المستخدمة فى الصناعة والماكينات مثل الحديد والنحاس والألومنيوم ... الخ، أو المواد المستخدمة فى أعمال الصيانة مثل مواد الطلاء والبويات، وكذلك المواد التى تستخدم لتوليد الطاقة مثل الماء والمواد البترولية ومواد الطاقة الذرية.
تقسم المواد الهندسية حسب تصنيفات متعددة كما يلي:

أ- تقسيم المواد حسب طبيعة تركيبها.
ب- تقسيم المواد حسب مصادر الحصول عليها.
جـ- تقسيم المواد حسب خواصها الميكانيكية.

١-٤-١ تقسيم المواد حسب طبيعة تركيبها.

١- المواد المعدنية

- معادن حديدية: مثل الحديد الصلب والحديد الزهر والحديد المطاوع
- معادن غير حديدية: هى معادن ثقيلة مثل النحاس والنيكل ومنها معادن خفيفة مثل الألومنيوم والماغنسيوم ومعادن طرية مثل الصفيح والرصاص.

٢- المواد غير المعدنية

- مواد البناء: مثل الأحجار والطوب و الركام والخرسانة والأسمنتيات والجبس والأخشاب... وغيرها.
- مواد متنوعة: مثل المطاط والبلاستيك والفوم والبويات... الخ.

٣- المواد المولدة للطاقة

- مثل الماء والفحم والمواد البترولية واليورانيوم... وغيرها.

١-٤-٢ تقسيم المواد حسب مصادر الحصول عليها

١- مواد من مصادر طبيعية

يمكن تقسم المواد الطبيعية إلى مواد طبيعية ليس لأى يد بشرية دخل فى تكوينها أو تغير خواصها، ومواد مستخلصة

- **المواد الطبيعية**

هى المواد التى تستخدم بنفس بنيانها وخواصها كما هى بالطبيعية مثل الأحجار والركام بأنواعه والمواد البترولية والأخشاب.

- **المواد المستخلصة**

هى المواد التى تستخلص ويتم استخدامها من الخامات الطبيعية مثل الحديد والنحاس وبعض المنتجات البترولية والذهب والألومنيوم.

٢- مواد من مصادر صناعية

هى المواد ونظائرها التى يتم تصنيفها من خامات طبيعية أو خامات مصنعة ومجهزة فى المعامل أو المصانع بغرض الحصول على مواد هندسية مصنعة ذات خواص معينة تلائم العمل المصممة من أجله، مثل مواد الطلاء ومواد العزل والطوب وسبائك المعادان و الأسمنت.....وغيرها.

٣- مواد من مخلفات الأعمال الهندسية والصناعية

هى المواد التى تنتج وتختلف بشكل ثانوى من مراحل تصنيع الأعمال الهندسية والصناعية مثل خبث الأفران ونواتج الاحتراق والمخلفات البترولية ومخلفات أعمال المبانى من الكوب وبلاط وسيراميك، وتلك المخلفات كلها يمكن استخدمها فى أعمال هندسية اخرى مثل صناعة الأسمنت الحديدى وأعمال العزل وبعض أنواع من الطوب والخرسانات...الخ

١-٤-٣ تقسيم المواد حسب خواصها الميكانيكية

الخواص الميكانيكية من أهم الخواص التى تدرس سلوك المواد وخواصها لذلك يمكن تقسيم المواد لهندسية من حيث خواصها الميكانيكية إلى مواد مطيلة ومواد نصف مطيلة ومواد قصفة.

١. المواد المطيلة

هى المواد التى يتغير شكلها أو يمكن أن يحدث بها استطالة بتأثير الأحمال المختلفة التى تؤثر عليها وتكون خاصية المرونة والممطولية بها عالية وكذلك مقاومتها للشد عالية مثل الحديد المطاوع والألومنيوم...وغيرها من المواد المعدنية.

٢. المواد القصفة

هى المواد التى تكون مقاومتها للشد ضعيفة ولا تقاوم أحمال الصدم ولكن تتحسن مقاومتها للضغط بشكل مناسب مثل الطوب والأحجار والخرسانة والزجاج والحديد الزهر... وغيرها من المواد المعدنية والغير معدنية.

٣. المواد النصف مطيلة

هى المواد التى خواصها تجمع بين خواص المواد المطيلة من حيث قدرتها على الممطولية بدرجة أقل وخواص المواد القصفة بتحسين ظاهر فى خواص المرونة. وهذه المواد هى الصلب الكربونى والنحاس الأصفر.

١-٥ اختيار المواد الهندسية

- اختيار المواد الهندسية هو قياس مدى صلاحية استخدام المواد لاستعمالها فى الأغراض المتنوعة المعينة. وعليه نجد أنه من أهم أغراض اختيار المواد هو المساعدة على إظهار مدى مقاومة و احتمال المواد تحت ظروف العمل المختلفة لأى عمل هندسى مطلوبة لأجله.
- من هنا يجب أن نأخذ فى الاعتبار أن المواد المختارة التى تستخدم بشكل مناسب وجيد ونستفيد من مميزات خواصها بدون أى إهمال أو سوء استخدام لها وكذلك مراحل التصميم المناسب معاً يؤكدان سلامة العمل المطلوب تنفيذه. وهناك مصدران أساسيان يحصل منهما المهندس على البيانات اللازمة للإختيار الأمثل للمواد وهما:
- التقارير التى تبين مدى كفاءة استخدام المواد عند التنفيذ.
- نتائج الاختبارات التى اجريت على المواد الهندسية لمعرفة وتحديد خواصها حتى يتمكن المصمم من إعداد مواصفاتها.
- لكى يتمثل تصميم أى منشأ إلى بناء قائم، بأنه يجب على المنفذ أن يختار المواد المتنوعة المطلوبة بشكل يسهل الحصول عليها من الأنواع التى يقصدها المصمم، ثم نجرى الإختبارات المطلوبة لتحديد نوع المواد اللازمة. وعلية يجب نأخذ الاعتبار بعض الاحتياجات عند اختبار المواد كما يلى:

١- أنواع المواد التى يمكن الحصول عليها.

٢- الخواص المميزة للمواد المتنوعة.

٣- الاستخدامات المطلوبة من المواد.

٤- طرق صناعة المواد المختلفة وتأثيرها على خواص المواد.

٥- أسلوب وضع المواصفات للمواد ومدى ملائمتها لمراحل التنفيذ.

٦- طرق الاختيار الأمثل و الفحص المطلوب ومدى دلالتها على تقرير وقياس الخاصية المطلوبة.

ويبين الشكل (١-١) المتطلبات المختلفة التى تتحكم فى اختيار المواد.

الاختيار

متطلبات الاستخدام	متطلبات التصنيع	متطلبات اقتصادية
- المقاومة - الوزن المناسب - توافر المادة - المرونة - الصلادة - الخواص المغناطيسية - مقاومة الكلال - مقاومة الزحف - مقاومة الحرارة - مقاومة التأكل - التمدد الحرارى - التوصيل الحرارى	- سهول التجميع - قابلية الطرق - قابلية التشغيل - التجارب مع المعاملة الحرارية - قابلية الصب	- تكاليف المواد - تكاليف الصب أو التشغيل - تكاليف التجميع - تكاليف التشغيل بالماكينات

شكل (١-١) المتطلبات المختلفة التى تتحكم فى اختيار المواد

كما يبين جدول (١-١) أمثلة عامة عن الأعمال الهندسية المتنوعة والخاصية المطلوبة فى المادة والمناسبة لهذه الأعمال، حتى نتمكن من اختيار المادة المناسبة لهذا الغرض.

جدول (١-١) أمثلة عن خواص المواد الهندسية المناسبة للأعمال الهندسية المطلوبة

الخواص	العمل الهندسي
- مقاومة الضغط	- الأعمدة الخرسانية
- مقاومة الكسر	- السلاسل
- مقاومة الأحمال المتكررة	- قضيب المحور الدوار
- مقاومة على امتصاص الطاقة	- اليايات
- مقاومة الاشعاع	- الحوائط المصنوعة من الرصاص
- مقاومة التآكل والبرى	- قواعد الارتكاز
- خفة الوزن	- أجزاء الطائرات

١-٦ الخواص العامة للمواد الهندسية

خواص المواد هي المقاييس والمعايير المحددة التى تصف جودة المواد، وتفيد الخواص فى اعتبارها أنها الأساس الذي يضع به المهندس المصمم احتياجاته للمادة واختيار انسبها فى الأعمال الهندسية المختلفة. ولكى تكون على دراية ومعرفة دقيقة بمادة من المواد يجب علينا تعيين خواص تلك المواد تحت أى ظروف وذلك لضمان الحصول على كافة البيانات والمعلومات عن هذه الخواص والتى تؤثر بشكل مباشر على قيمة الأعمال المستخدم فيها هذه المواد فنيا واقتصاديا. ومن هنا يجب أن نتعرف على الخواص المميزة للمواد الهندسية:

١- الخواص الطبيعية

تتميز الخواص الطبيعية للمواد بمعرفة خواصها عن الأبعاد واللون والشكل والوزن النوعى والوزن الحجمى والمسامية والتركيب الجزيئى والبلورى ... الخ

٢- الخواص الكيميائية

تتعلق الخواص الكيميائية بالتركيب الكيميائى للمادة وتعيين الأس الهيدروجين لمعرفة القاعدية والحامضية، ومعرفة أيضا مقاومة التآكل بالصدأ، تحديد نسب المواد الغريبة والشوائب الموجودة فى المواد للحكم على ضبط جودة استخدامها.

٣- الخواص الحرارية

هى الخواص التى توضح تأثير الحرارة على المواد منها تحديد الحرارة النوعية والتوصيل الحرارى ومعاملات التمدد والانكماش من التأثير الحرارى على المواد والعينات.

٤- الخواص الكهربية

الخواص الكهربية ترتبط بتعيين المقاومة الكهربية للمواد وكذلك معرفة التوصيل والعزل الكهربائى.

٥- الخواص المغناطيسية

من أهم الخواص المغناطيسية هى معرفة النفاذ المغناطيسى للمواد، وقياس العزل المغناطيسى ودرجة التأثير بالمجالات المغناطيسية المحيطة.

٦- الخواص الضوئية

تعتمد هذه الخواص على تأثير الضوء على المواد ومن هذه الخواص تعيين درجة انكسار الضوء وامتصاص وانعكاس الضوء ودرجة اللون، ويمكن تحديد تلك الخواص والتى تؤثر بشكل مباشر على اختيار المواد اللازمة للعمل الهندسى المطلوب وخاصة فى أعمال الهندسية المعمارية.

٧- الخواص الصوتية

الخواص الصوتية للمواد مثل التوصيل الصوتى والانعكاس الصوتى ودرجة عزل الصوت ودرجة نفاذية الصوت والتردد ولهذه الخواص أهمية فى مجالات تطبيقية مختلفة.

٨- الخواص الميكانيكية

الخواص الميكانيكية هى الخواص التى تتعلق بسلوك المواد الهندسية عند تعرضها للأحمال المؤثرة المختلفة سواء كانت هذه الأحمال إستاتيكية أو ديناميكية أو متكررة. كما أن الخواص الميكانيكية تستخدم كأساس للمقارنة بين المواد الهندسية المختلفة. ولأهمية الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية فإنه سيتم فصلها وسرد توضيحها بدقة عالية على حده فيما يلى.

١-٧ الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية

لتعيين الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية يجب أن تكون على معرفة تامة بأنواع وطبيعية الأحمال المؤثرة على المواد الهندسية قبل الخوض فى التعرف على الخواص الميكانيكية الرئيسية التى تميز صفات وخواص المواد.

أنواع التحميل

يمكن تقسيم الطرق التى تؤثر بها الأحمال على المواد الهندسية إلى الأنواع الآتية:

١- التحميل الاستاتيكى

الحمل الاستاتيكى قد يكون فيه تأثير الحمل بطيئاً متزايداً أو متناقصاً تدريجياً حتى يصل إلى قيمته القصوى أو الدنيا بدون حدوث أى أحمال صدم أو اهتزاز مثل أحمال اختبارات الشد أو الضغط أو الانحناء أو القص، حيث أنه تحمل عينة الاختبار بأحمال تزداد تدريجيا ببطء وبمعدلات تحميل معلومة طبقا لمواصفات أى من الإختبارات حتى يصل الحمل إلى قيمته القصوى ويحدث الكسر بالعينات. وقد يكون الحمل الإستاتيكى ثابت المقدار والاتجاه وطبيعة وموضع التأثير مثل أوزان العناصر الإنشائية المختلفة وكذلك أى أحمال دائمة ساكنة مؤثرة عليها. كما أن التحميل المستمر او التحميل الدائم مدة طويلة مع الزمن بدون تغيير فى طبيعة الحمل المؤثر يعد تحميلاً إستاتيكيا.

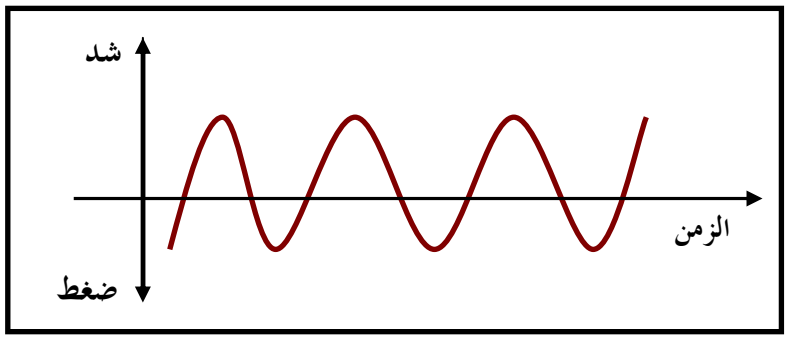
٢- التحميل الديناميكى

التحميل الديناميكى تكون الأحمل المؤثرة على المواد ما هى إلا أحمال اهتزاز أو أحمال صدم وتكون مدة تأثير هذه الأحمال قصيرة نسبياً. ويختلف التحميل الديناميكى عن التحميل الإستاتيكى فى أن الإجهادات الناشئة عن التحميل الديناميكى أعلى بكثر من الإجهادات الناتجة عن التأثير بنفس قيمة الحمل ولكن حمل إستاتيكى. ويعرف الحمل الاستاتيكى الذى يعطى نفس الإجهادات الناشئة من الحمل الديناميكى بالحمل الاستاتيكى المكافئ. ومن أمثلة التحميل الديناميكى هى أحمال الأجسام المتحركة عند صدمها بأجسام أخرى (مثل هبوط الطائرة على أرض المطار)، والأحمال الناشئة عن دوران الماكينات وحركة القطارات، وأحمال الزلازل... وغيرها.

٣- التحميل المتكرر

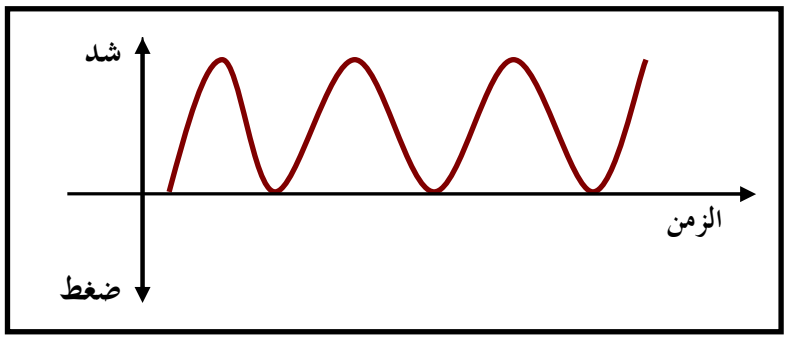
التحميل المتكرر هو الحالة التى تتعرض فيها العناصر الإنشائية إلى حمل يتكرر مرات عديدة. وللتحميل المتكرر أهمية خاصه يجب الإهتمام بها لأن العناصر قد تتحمل إجهادات معينة بتأثير الأحمال لمرة واحدة، بينما قد تنهار هذه العناصر تحت تأثير نفس الأحمال أو أحمال أقل منها لو كان الحمل المؤثر متكرراً لمرات عديدة. ويسبب التحميل المتكرر اجهادات متغيرة فى القيمة غالبا فى حدود معينة، ويمكن توضيح بعض حالات الإجهادات المتكررة فيما يلي:

١- اجهادات متغيرة من قيمة قصوى فى الشد إلى قيمة قصوى فى الضغط. كما فى شكل (١-٢).



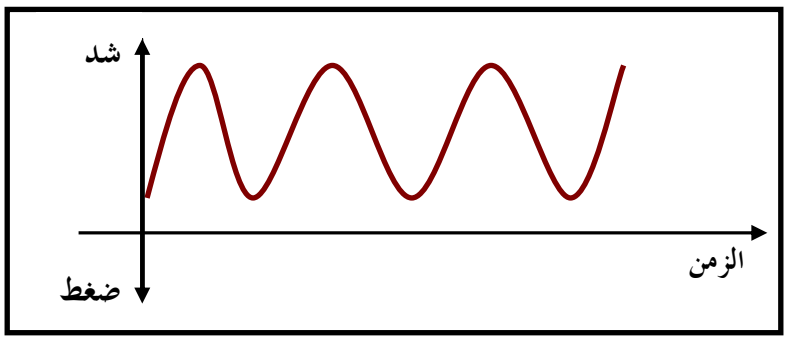
شكل(١-٢) دورة متغيرة بين قيمة قصوى فى الشد إلى قيمة قصوى فى الضغط

٢- اجهادات متغيرة من قيمة قصوى فى الشد أو الضغط إلى قيمة تساوى صفراً كمافى شكل (١-٣).



شكل(١-٣) دورة متغيرة بين قيمة قصوى إلى الصفر

٣- اجهادات متغيرة من قيمة عظمى فى الشد أو الضغط إلى قيمة صغرى فى الشد أو الضغط ولكن بقيمة أعلى من الصفر كما هو موضح بالشكل (١-٤)



شكل(١-٤) دورة متغيرة بين قيمة عظمى وقيمة صغرى

ومن هنا يتضح لنا أهمية تأثير الأحمال على العناصر الإنشائية وكذلك الطريقة التى ينتقل بها الحمل عليهما لما لها من تأثير كبير على تعيين خواص المواد المستخدمة ومقاومتها لهذه الأحمال. لذلك يجب أن نعتنى بدارسة تأثير الأحمال بكل جدية لما لها من أهمية كبرى فى أعمال التصميم وحساب القطاعات المناسبة للعناصر الإنشائية المحملة وكذلك تعيين خواص المواد الميكانيكية المطلوبة من الاختبارات التى يتم اختيارها لذلك.

١-٨ الخواص الميكانيكية الرئيسية

قد تم تعريف الخواص الميكانيكية للمواد بأنها تعيين سلوك المادة تحت تأثير الأحمال المختلفة، وتعتبر الخواص المميزة الآتية هى الخواص الميكانيكية الرئيسية التى يمكن بها تمييز وتصنيف المواد الهندسية:

١ـ المرونة Elasticity

المرونة هى قدرة المادة على استعادة أبعادها الأصلية بعد زوال الحمل المؤثر وعدم بقاء أى تشكل دائم بها. أما بالنسبة لإجهاد حد المرونة فأنه أكبر إجهاد تتحملة المادة بشرط عدم بقاء أى تغير أو تشكل دائم فى الأبعاد والشكل بعد زوال هذا الإجهاد.

٢ـ اللدونة Plasticity

اللدونة هى قدرة المادة على أن يكون لها تشكل دائم ولا تسترجع المادة أبعادها الأصلية بعد زوال الحمل المؤثر. ولخاصية اللدونة أهمية كبرى فى عمليات التشكيل للمعادن.

٣ـ المطولية Ductility

المطولية هى قدرة المادة على السحب والاستطالة الكبيرة عند تعرضها لأحمال الشد أى أنها هى الخاصيه التى تسمح للمادة بتغير لدن كبير تحت تأثير أحمال الشد

وتقاس قيمة مطولية المواد بما يأتى:

١- النسبة المئوية للاستطالة $$*\text{Ductility} = \frac{L_i - L_o}{L_o} \times 100$$

٢- النسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع $$*\text{Ductility} = \frac{A_o - A_i}{A_o} \times 100$$

٣- عامل الاستطالة $$*\text{Elongation Factor} = \frac{A_o - A_i}{A_i} \times 100$$

حيث:

الطول الأصلى للعينة = L_0

مساحة المقطع الأصلية = A_0

الطول القياسى بعد الكسر = L_i

مساحة المقطع بعد الكسر = A_i

حمل الشد = P

٤- الطروقية Malleability

الطروقية هى قدرة المادة على حدوث تغيرات لدنه كبيرة تحت تأثير أحمال الضغط، وكذلك قدرتها على التفلطح بالطرق بدون حدوث أى تشرخ أو كسر

٥- التقصف Brittleness

التقصف هى الخاصية التى تجعل المادة تنكسر قبل حدوث أى تغير ملحوظ فى الشكل او أنها عدم قابلية المادة على الاستطالة أو السحب أو الطرق، وبذلك فإن التقصف يعتبر عكس الممطولية. ومن المواد التى لها خاصية القصافة هى الحديد الزهر والخرسانة والزجاج وغيرها.

٦- المقاومة Strength

المقاومة تعرف بانها هى مقاومة المادة لأى حمل مؤثر عليها سواء كان حمل شد أو ضغط أو انحناء او قص، وتعرف بالمقاومة للضغط إذا كان الحمل المؤثر حمل ضغط، والمقاومة للشد إذا كان الحمل المؤثر حمل شد وهكذا. وأقصى مقاومة تعرف بأنها أكبر إجهاد تتحمله المادة تحت تأثير الحمل المؤثر ببطء حتى الكسر. ووحدات قياس المقاومة هى نفسها وحدات قياس الإجهاد.(وحدات قوة على مساحة)

٧- الصلابة Stiffness

الصلابة هى مقاومة المادة لأى نوع من التغير فى الشكل والأبعاد، وتعرف المادة الصلبة بأنها المادة التى تتحمل إجهادات عالية مع حدوث تغيرات صغيرة نسبيا فى الشكل. وتقاس قيمة الصلابة للمواد بمقدار معاير المرونة أو معاير يونج للمرونة فى اختبار الشد والضغط المحورى وهو مقياس الصلابة فى حدود المرونة. معاير المرونة هو قيمة الزيادة فى الإجهاد مقسومة على الزيادة فى الانفعال المقابل له فى حدود المرونة للمادة

معاير المرونة (Modulus of Elasticity) = $\frac{\text{الإجهاد } (\sigma)}{\text{الانفعال } (\varepsilon)}$

٨ـ **المتانة** Toughness

المتانة هى قدرة المادة على مقاومتها للأحمال الديناميكية أ أنها تعبر عن قدرتها على مقاومة أحمال الصدم وإمتصاص الطاقة الميكانيكية. مع تغير كبير فى الشكل بدون حدوث كسر. وتقاس المتانة بمقدار بقيمة المساحة الكلية تحت منحنى الحمل والاستطالة فى شكل (١-٩). ويعرف معاير المتانة بمقدار الطاقة المؤثرة على منحنى الإجهاد والإنفعال للمواد (المساحة الكلية تحت منحنى الإجهاد والانفعال)

٩ـ **الرجوعية** Resilience

الرجوعية هى قدرة المادة على امتصاص الطاقة المرنة التى تختفى بعد زوال الحمل المؤثر. وتقاس الرجوعية بمقدار المساحة تحت الجزء المستقيم لمنحنى الحمل والاستطالة). ومعاير الرجوعية يعرف بأنه أكبر كمية من الطاقة الميكانيكة المرنة التى تختزنها وحدة الحجوم من المادة وتسترجع ثانية بمجرد إزالة الحمل المؤثر. ويعيين مقدار معاير الرجوعية للمادة بحساب المساحة التى تحت منحنى الإجهاد والإنفعال المحصورة بين الصفر وإجهاد حد المرونة

١٠ـ **الصلادة** Hardness

الصلادة هى قدرة المادة على الاحتفاظ بشكل سطحها سليما متماسكا تحت تأثير الأحمال المختلفة. وقد تعرف الصلادة بأنها قدرة المادة على مقاومة البرى نتيجة الاحتكاك أو المقاومة للخدش أو القطع أو حدوث أى علامة بها. وهذا التعريف لا يمكن أن يكون تعريفاً عاماً لأن بعض المعادن لها مقاومة ضعيفة لنوع من أنواع الصلادة بينما لها قدرة عالية فى نوع أخر،

١١ـ **الاحتمال** Endurance

الاحتمال هى قدرة المادة على مقاومة الأحمال المؤثرة المتكررة مرات عديدة. ويعرف حد الاحتمال بأنه أكبر إجهاد متكرر يمكن تعريض المادة له عدداً لانهائيا من المرات دون أن يسبب انهيار للمادة.

١- ٩ التفتيش وضبط الجودة على المواد الهندسية
Inspection & Quality control

يعتبر التفتيش وضبط الجودة من أهم المؤثرات على كفاءة تنفيذ الأعمال الهندسية، ويتضمن التفتيش على المواد ملاحظات عمليات الصناعة ونتبع خطوات الإنتاج أو خطوات الإنشاء للتأكد من تواجد الخواص المطلوبة للمواد والمنشآت. وقد يتم التفتيش على المواد بالفحص البصرى وبالكشف عن العيوب السطحية وبإجراء الاختبارات المعملية على المواد والمنشآت وذلك للتأكد من مطابقة المواد للاشتراطات المطلوبة. ويهدف التفتيش إلى التحكم فى جودة المواد أو المنشآت ورفض ما يظهر منها أقل من المستوى المطلوب. والتفتيش الفنى ما هو إلا تطبيق المواصفات الفنية المطلوبة على مختلف مراحل الأعمال الهندسية المختلفة والتأكد من مطابقة هذه الأعمال للأصول الفنية، ويقوم بالتفتيش الفنى أى من الهيئات المسئولة عن ضبط الجودة والتى لها الخبرة التامة والدراية الفنية العالية. و الهيئات الفنية للتفتيش هى هيئات حكومية أو هيئات أهلية أو مجموعة من المهندسين المتخصصين. ويشترط فيمن يقوم بالتفتيش الإلمام العلمى التام للعملية التى يراجعها وكذلك يكون على دراية بحسن المعاملات مع الهيئات التى يتابعها ويكون على معرفة تامة بكيفية إجراء الفحوص والاختبارات المطلوبة.

١-١٠ مواصفات المواد الهندسية Specifications

مواصفات المواد الهندسية هى الاشتراطات التى يتم وضعها للمنتجين أو المنفذين من قبل صاحب العملية الهندسية والتى تحقق الرغبات والخواص المطلوبة فى العملية الهندسية. وتتوقف كفاءة المنتجات وحسن تنفيذ العمليات على دقة وسلامة الاشتراطات المحددة لها. ونظراً للتقدم العلمى المستمر وكذلك المعرفة المتطورة عن المواد وخواصها والتطور الصناعى والانشائى للعمليات الهندسية فإنه يمكننا وضع اشتراطات أكثر تعبيراً وأدق تحديداً لما يجب أن تكون عليه المنتجات والمنشآت المطلوبة. مع التقدم والتطور والمعرفة بأنه يجب أن نقوم بعمل مواصفات مناسبة أكثر فاعلية لتتماشى مع هذا التقدم. وتصف المواصفات المثالية خواص المواد اللازمة لأداء عمل هندسى معين بكفاءة عالية. وقد تكون المواصفات أقل من المستوى المثالى المطلوب لعدة أسباب منها:

- أن تكون المواصفات ذات شروط سهلة تساعد على استخدام مواد ذات خواص غير جيدة فى الاعمال الهندسية مما يجعلها تؤثر بشكل مباشر على كفاءة هذه الأعمال.
- أن تكون المواصفات ذات شروط متشددة فتمنع المواد ذات الجودة المناسبة العالية من استخدامها فى الأعمال الهندسية المناسبة.
- أن تكون المواصفات معدة على معلومات خاطئة بالنسبة لنوع العمل المطلوب متسبب الأخطاء الفنية فى الأعمال الهندسية.

كما يجب مراعاة أن المواصفات لا تعد للمواد المثالية فقط ولكن تعد لكى تسمح باستخدام كافة المواد الممكن الحصول عليها بتكاليف مناسبة تحت الظروف المحيطة بالأعمال الهندسية المطلوبة.

وتحتوى المواصفات على اشتراطات مختلفة تتعلق بالنواحى التالية:

١- طرق الصناعة وتكنولوجيا الإنتاج.
٢- الشكل والأبعاد والتشطيب.
٣- الخواص الطبيعية والكيميائية والميكانيكية وغيرها المطلوبة.
٤- حدود العيوب الغير مرغوب فيها.
٥- كيفية تحضير العينات للاختبار وبطرق الاختبار والتفتيش.
٦- القبول والرفض والتحكم.

١-١١ اختبارات المواد الهندسية

يرتكز علم اختبار المواد على تصنيفات كثيرة وعديدة لوضع الأسس التى تحكم على جودة وخواص المواد المستخدمة.

وعليه فإنه يمكن تقسيم أنواع الاختبارات على المواد إلى ما يلى :

١-١١-١ اختبارات تتوقف على الغرض من إجراء الاختبار ويمكن تلخيصها فيما يلي:

أ – الاختبارات التجارية

الاختبار التجاري يجري بغرض التحكم في المواد والمنتجات للحصول على البيانات الدورية عن خواصها وللتأكد من قبول أو رفض المواد والمنتجات طبقا لشروط الشراء أو حدود الصناعة ، وهذه الاختبارات بسيطة ولا يلزم لها درجة عالية من الدقة للنتائج ، وتعمل اختبارات متنوعة لها سواء طبيعية أو كيميائية أو ميكانيكية أو فحص ميكروسكوبي .

ب – الاختبارات البحثية

وتختص هذه الاختبارات بالنواحي البحثية للحصول على معلومات جديدة عن مواد جديدة ، وكذلك تهتم باكتشاف خواص جديدة للمواد ، وأيضا تختص بتحسين وتطوير الخواص القياسية للمواد المعروفة أو أسلوب إجراء الاختبارات ويحتمل أيضا أن يضاف إلى هذه الأغراض غرض معين مثل اختبار المادة لاستعمال خاص، أو تعيين الأسس الفعالة لتحسين التصميم ودراسة سلوك المنشآت أو أحد العناصر الإنشائية ولهذه المنشآت تحت ظروف التشغيل المختلفة وهذا النوع من الاختبارات يتطلب منفذين وفنيين وباحثين مهرة ذو خبرة عالية.

جـ الاختبارات العلمية

الاختبار العلمي يجرى بغرض الحصول على مقاييس دقيقة للخواص الأساسية أو الثوابت الطبيعية عن طريق تجميع بيانات عديدة بغرض الحصول على بيانات للتحليل الدقيق بسلوك المنشآت والتصميم الفعال لها، ويتطلب هذا النوع من الاختبارات الدقة العالية والعناية الفائقة.

١-١١- ٢ اختبارات تجرى بموقع العمل

هذه الاختبارات تجرى فى موقع العمل بأجهزة بسيطة غالبا ما ينقصها الدقة بالنسبة لمثيلاتها التى تجرى بالمعمل نظرا لصعوبة ظروف التشغيل والأحوال الجوية المتغيرة وتحديد مدة الاختبار والأسباب المختلفة التى قد تعرض أو تقلل كفاءة إجراء الاختبار. وقد يتم إجراء بعض من هذه الاختبارات فى معامل صغيرة بموقع العمل أو معامل قريبة من موقع العمل يجرى لها الاختبارات المطلوبة، وتكون هذه الاختبارات المعملية أفضل وأكثر دقة عن التي تجرى بموقع العمل.

١-١١- ٣ اختبارات تجرى طبقا لتنوع العينات المختبرة

تجرى الاختبارات من هذا النوع إما على المنشأ نفسه أو على عناصر من عناصره الإنشائية أى على جزء منه أو على عينات من المواد المصنعة أو المنتجات أو على عينات من المواد الخام أو على نماذج للمنشأ أو على أى جزء من أجزائه. ويلاحظ أنه يمكن أن تجرى الاختبارات على نماذج مصغرة للعنصر الإنشائي أو للمنشأ الهندسي بالكامل.

١-١١- ٤ الاختبارات المتلفة وغير المتلفة

يمكن تقسيم هذه الاختبارات طبقا للحالة النهائية لعينات الاختبار بعد انتهاء الاختبارات عليها إلى اختبارات متلفة واختبارات غير متلفة. فلاختبارات المتلفة تظهر فى حالة ما يكون المطلوب تعيين المقاومة القصوى لأى مادة فى الشد أو الضغط مثلا فهذا يعنى كسر عينة الاختبار من هذه المادة وتصبح عينة الاختبارات غير صالحة لأداء عملها بالمنشأ أى أتلفت بإجراء الاختبار أما عند اختباراً المنتجات المنتهية فيلزم عدم إتلاف أى جزء فيها ويحتاج ذلك إلى اختبارات غير متلفة مثل الاختبار بالأشعة أو باستخدام الموجات فوق الصوتية واختبارات صلادة العلامة والاختبارات الضوئية واختبار مطرقة شميدت على العناصر الخرسانية.

١- ١٢ أنواع ماكينات الاختبار للمواد

استخدام أجهزة وماكينات الاختبار له أهمية كبرى فى إتمام الاختبار للمواد الهندسية والمنشآت وبدون الأجهزة لا يتم إجراء الاختبار، ومرت أجهزة القياس والماكينات لأنواع الاختبارات المختلفة بتطورات عديدة فى مراحل صناعتها حتى وصلنا إلى الصورة الحالية للأجهزة والماكينات الحديثة. يمكن تقسيم ماكينات الاختبار إلى الأنواع الآتية:

١- *ماكينات الاختبار العامة*

ماكينات اختبار مصممة لإجراء العديد من الاختبارات مثل الشد والضغط والانحناء. شكل ١-٥.

٢- *ماكينات الاختبار المصممة لإجراء اختبار واحد*

هذا النوع من الماكينات أحادى الاستخدام أي تجرى اختبار واحد فقط مثل ماكينة اختبار الشد أو ماكينة اختبار الضغط [شكل (١-٦)] أو ماكينة اختبار الانحناء شكل ١-٧.

٣- *ماكينات الاختبار الخاصة*

هى الماكينات المصممة لإجراء اختبارات خاصة مثل الصلادة شكل ١-٨ او الالتواء شكل ١-٩ او الصدم شكل ١-١٠ أو اختبار القلب الخرسانى شكل ١-١١.

٤- *ماكينات الاختبار الرأسية*

هذه الماكينات رأسية لأن التأثير بالحمل رأسيا مثل ماكينات اختبار الأعمدة.

٥- *ماكينات الاختبار الأفقية*

يصمم هذا النوع من الماكينات بحيث يتحرك فيها رأس التحميل في الاتجاه الأفقي ويفضل استخدامه فى حالة العينات الطويلة نسبيا كما هى الحال فى اختبارات السلاسل أو الحبال والأسلاك شكل (١-١٢). إذ أن طبيعية هذا النوع من الاختبارات تحتم طولا معينا لقطعة الاختبار وقد لا يسمح به ارتفاع المعمل لو كان تحميل الماكينة رأسياً.

٦- *ماكينات الاختبار عند درجات الحرارة العالية أو المنخفضة*

هذا النوع من الماكينات تستخدم لدراسة سلوك المواد عند درجات الحرارة المختلفة ومن هذه الاختبارات اختبار الزحف عند درجات الحرارة العالية واختبار التمدد عند درجات الحرارة المختلفة.

٧- *ماكينات لاختبار منشآت أو ماكينات كاملة أو أجزاء كاملة من هذه الماكينات أو المنشآت:*

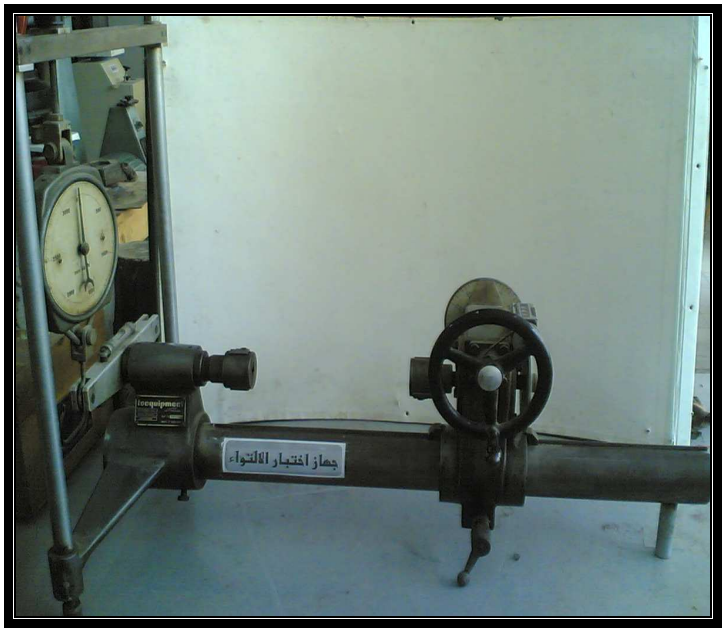
مثل هذا النوع قاعدة الاختبار المزودة بها كل التحميل وبضغوط هيدروليكية للتأثير بالحمل. ويتضح من التقسيم السابق لأنواع ماكينات الاختبار أنه أهم هذه الأنواع هو ماكينات الاختبار العامة حيث يمكن استخدامها فى اختبارات عديدة.

شكل (١- ٥) ماكينة الاختبار العامة

شكل ١ـ ٦ ماكينة اختبار الضغط

شكل (١ ـ ٧) ماكينة اختبار الانحناء

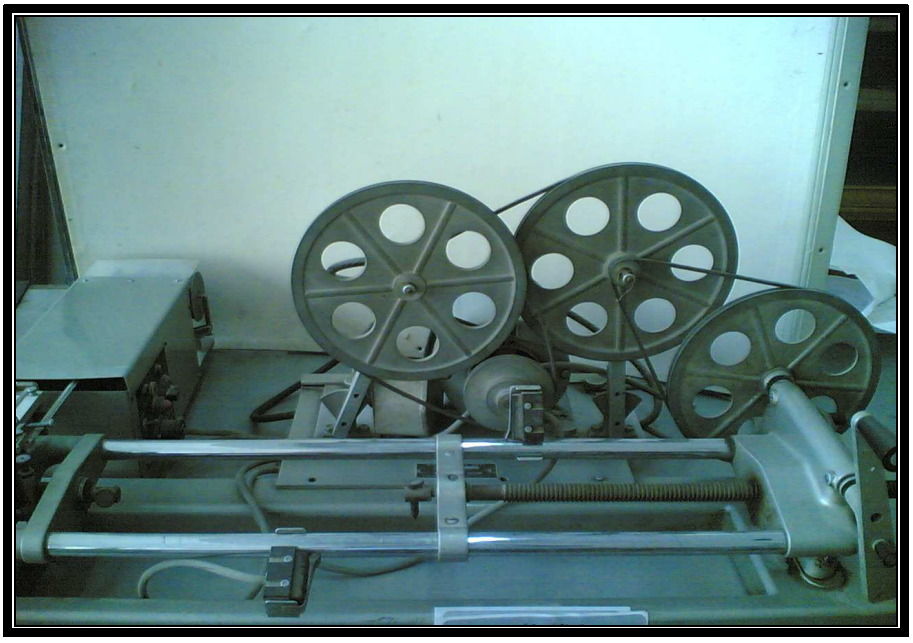
شكل (١ـ ٨) ماكينة اختبار الصلادة



شكل (١ – ٩) ماكينة الالتواء

شكل (١-١٠) ماكينة اختبار الصدم

شكل (١-١١) ماكينة اختبار القلب الخرسانى



شكل (١-١٢) ماكينة اختبار أفقية لشد السلاسل

معايرة ماكينات الاختبار

يجب معايرة ماكينات الاختبار المختلفة بأنواعها من وقت إلى آخر للتأكد من دقة قياس وقراءة الأحمال وأن الأحمال المقروءة بالماكينة تمثل القيم الحقيقية للأحمال المؤثرة على عينات الاختبار من بداية التحميل حتى أقصى حمل لماكينة الاختبار وأنه لا يوجد أى خطأ فى الحمل فى المراحل مختلفة للتحميل. ويلزم معايرة ماكينات الاختبار للأسباب الآتية:

- يتم معايرة الماكينة بعد الانتهاء من تصنيعها مباشرة وتسمى بمعايرة المصنع.
- تجرى المعايرة على فترات دورية لا تزيد عن سنتين وهذه معايرة فى المعمل.
- تأثر الماكينات عند نقلها من مكان لآخر.
- بعد حدوث أى أعطال بالماكينة وبعد الإصلاح يتم معايرة الماكينة للتأكد من دقتها.

أثناء معايرة الماكينة يتم التأثير بالحمل على جهاز المعايرة وذلك ابتداءاً من صفر التحميل ويزداد تدريجيا حتى الوصول إلى أقصى حمل للماكينة ثم يتم تدوين قراءة الماكينة عند الأحمال المختلفة المعينة وتدوين أيضا القراءة المقابلة لكل حمل جهاز المعايرة وهى القيم الحقيقية للأحمال، ومن هذه القيم للأحمال يتم حساب النسبة المئوية للخطأ بين قراءة الماكينة وقراءة جهاز المعايرة وهو الحمل الحقيقي وتكون قيمة الخطأ سالبة أو موجبة حسب إشارة الفرق وذلك من العلاقة التالية:-

$$\text{الخطأ } \% = \frac{\text{قراءة الماكينة – قراءة جهاز المعايرة}}{\text{قراءة جهاز المعايرة}}$$

وبعد احتساب كل النسب المطلوبة لجميع الأحمال يتم رسم منحنى المعايرة بين الحمل الحقيقي (حمل جهاز المعايرة) ونسبة الخطأ% (موجبة أو سالبة)، وللحكم على دقة الماكينة يجب ألا تزيد نسبة الخطأ عن $\pm$ ١%، وإذا انحرفت القيم عن هذه الحدود فتحتاج الماكينة إلى ضبط.

١- ١٣ مقاييس الانفعال

مقاييس الانفعال هى الأجهزة التى تستخدم فى قياس التشكل الطولى وذلك لطول معين أثناء تحميل العينة المختبرة والتى منه يمكن تعيين الانفعال للعينة المختبرة كما يلى:

$$\text{الانفعال} = \frac{\text{التشكل الطولى الحادث } (\Delta L)}{\text{طول القياس الأصلى للعينة } (L)}$$

ويكون الانفعال بالشد أو بالضغط تبعا لحالة التشكل فى طول القياس إذا كان بالزيادة يكون فى الشد وإذا كان بالنقصان يكون فى الضغط وتوجد أنواع متعددة من مقاييس الانفعال منها:

- المقاييس الميكانيكية
- المقاييس الضوئية
- المقاييس الكهربية

١-١٣ ـ ١ المقاييس الميكانيكية للانفعال

تتلخص نظرية عمل تلك الأجهزة في أنها تقوم بتكبير التشكل الحادث ميكانيكيا عن طريق مجموعة من الأنواع والتروس وحيث أنه يلاحظ أن التشكل الطولي فى المنشآت وعينات الاختبار صغير جداً وخصوصا في مرحلة المرونة ولا يمكن قياسه بالأجهزة المعتادة ولابد من تكبيره حتى يمكن تحديده.

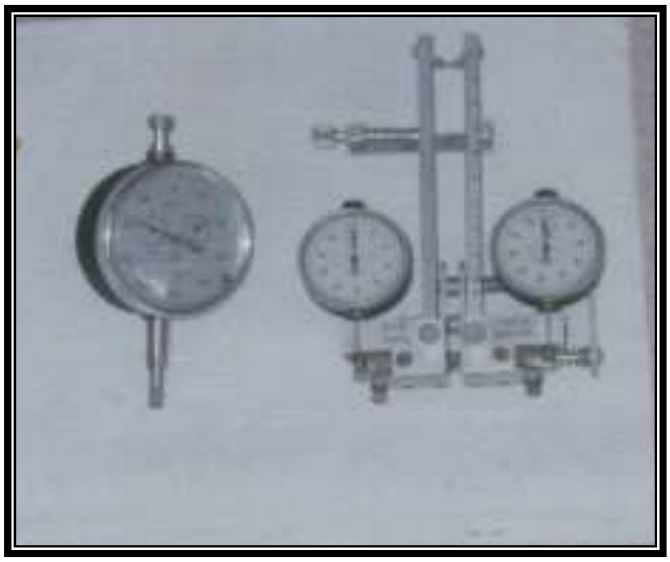
ومن مميزات مقاييس الانفعال الميكانيكية:

- تستخدم فى نطاق واسع فى الاختبارات المختلفة وتعتبر أكثر مناسبة فى بعض الحالات.
- لهذه الأجهزة اكتفاء ذاتى لا تحتاج إلى مساعدة أى أجهزة آخرى.
- يمكن قراءة النتائج بسهولة ووضوح على مقياس أو قرص مدرج.
- هذه الأجهزة متينة وتعتبر رخيصة وسهلة الاستخدام ومعمرة لفترات طويلة.
- يسهل استخدام هذه الأجهزة على عينات لها أكثر من طول قياس.
- يمكن معايرة هذه الأجهزة بسهولة.

ومن عيوب مقاييس الانفعال الميكانيكية:

- أن مقدار التكبير الحادث للتشكل محدود ولا يزيد عن ٢٠٠٠مرة
- أن هذه المقاييس لا تصلح لقياس التشكل الناتج من الحمل الديناميكى قبل الصدم أو الاهتزازات
- هذه الأجهزة ينقصها الدقة أحيانا نتيجة عوامل لا يمكن تلافيها وهى الوزن والاحتكاك ومدى قابلية أجزائها للانثناء وعدم فاعلية الحركة.

ومن أهم هذه الأنواع وأشهرها استخداما هو نوع المقاييس ذات الترس والقرص المدرج كما هو مبين بالشكل١-١٣.



شكل (١-١٣) المقياس ذات الترس والقرص المدرج

١-١٣ - ٢ المقاييس الضوئية للإنفعال

هذا النوع من المقاييس يتكون من أذرع ميكانيكية ومرايا وعدسات ضوئية حيث يثبت السطح العاكس للضوء وهو المرآة مرتكزا على ذراع مركب على طول القياس للجسم المختبر، فإذا حدث تشكل فى طول القياس فإن ذلك يتسبب فى دوران السطح العاكس للضوء. وإذا أرسلت أشعة ضوئية لتسقط على سطح العاكس وترتد على مقياس مدرج بالجهاز فإن مقدرا حركة الأشعة نتيجة دوران السطح العاكس التى يبينها المقياس المدرج تعبر عن التشكل فى طول القياس أى تمثل قيمة ذلك التشكل مكبراً

١-١٣ - ٣ المقاييس الكهربية للإنفعال

تقسم المقاييس الكهربية للإنفعال إلى ثلاث أنواع

- مقاييس الانفعال بالمحاثة الكهربية.
- مقاييس الانفعال بالسعة الكهربية.
- مقاييس الانفعال بالمقاومة الكهربية.

ومن التطبيقات والاختبارات المعملية لقياس انفعالات المواد وجد أن أكثر هذه الأنواع استخداما هو مقاييس المقاومة الكهربية شكل (١-١٤ إلى ١- ١٨)وذلك لسهولة استعمالها وملاءمتها للظروف المختلفة للتحميل. أما النوعان الآخران فإن استعمالهما محدود لوجود صعوبات متعددة مثل كبر حجم المقياس وصعوبة التشغيل والتناسب بين كل من المحاثة والسعة والانفعال فى مدى صغير.

مقاييس الانفعال بالمقاومة الكهربية

و يتكون من سلك قصير موضوع بين طبقتين من الورق او البلاستيك و تختار المادة التى يصنع منها السلك بحيث تكون النسبة بين التغير في المقاومة و التغير فى الانفعال ثابتة و هذه النسبة تسمى عامل المقياس (Gage Factor) و أكثر المواد استعمالا فى صنع هذه المقاييس هو سبيكة من النحاس و النيكل و يتراوح طول المقياس من ١,٥ – ١٥٠ مم و لحماية سلك المقياس أثناء الاستعمال من اختلاف درجة الحرارة يوضع غطاء فوق المقياس وينتهي سلك المقياس بطرفي توصيل لتوصيل المقياس بدائرة المقياس الخارجية. و يجب ان يكون مساحة مقطع طرفي التوصيل اكبر بكثير من مساحة مقطع سلك المقياس و ينتهي سلك القياس حتى تكون مقاومتها صغيرة و يمكن لحامها او توصيلها بدائرة المقياس. و عند الاستعمال يلصق المقياس على الجسم المختبر بحيث اذا حدث انفعال بالجسم فانه ينتقل تماما إلى مقياس الانفعال الكهربائي و يحدث به نفس الانفعال .
و يجب ان يتم تنظيف السطح الذي سيلصق عليه المقياس بصنفرة متوسطة الخشونة ثم ينظف بواسطة قطعة من القطن مبللة بالأسيتون. و توضع المادة اللاصقة على سطح الجسم الذي تم إعداده بكمية كافية لمنع حدوث جيوب هوائية تحت المقياس ثم يثبت القياس و يضغط عليه حتى يتم تثبيته و يترك لمدة تتراوح بين يوم او يومين حتى تجف المادة اللاصقة .
و الفكرة المبنى عليها مقياس الانفعال الكهربائي انه بعد تمام لصقه إذا حدث انفعال بالجسم فانه ينتقل تماما إلى مقياس الانفعال الكهربائي و يحدث به نفس الانفعال فيغير المقاومة الكهربائية للسلك:

$$\frac{\Delta L}{L} \text{ تتناسب مع } \frac{\Delta R}{R}$$

حيث

ΔL = التغير في طول السلك L

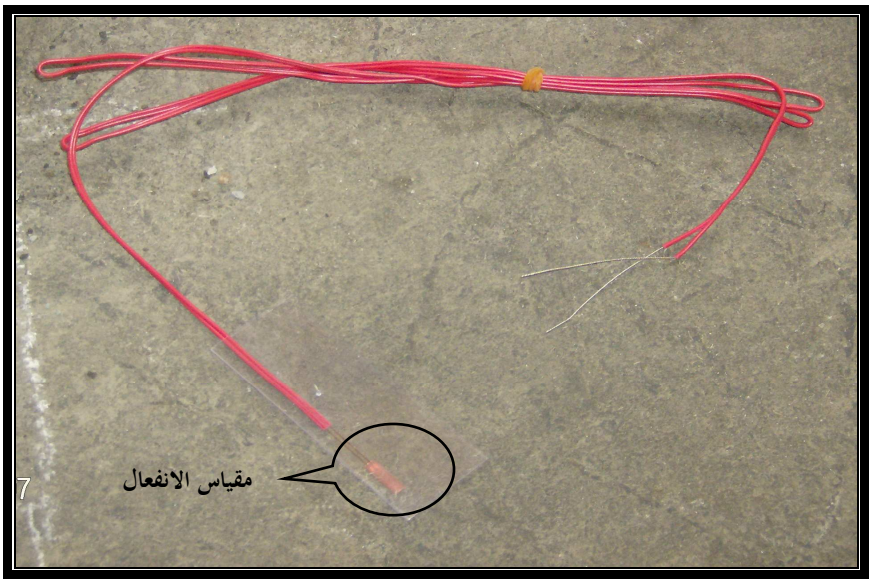
ΔR = التغير في مقاومة السلك R

الانفعال = $\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L}$ × ثابت

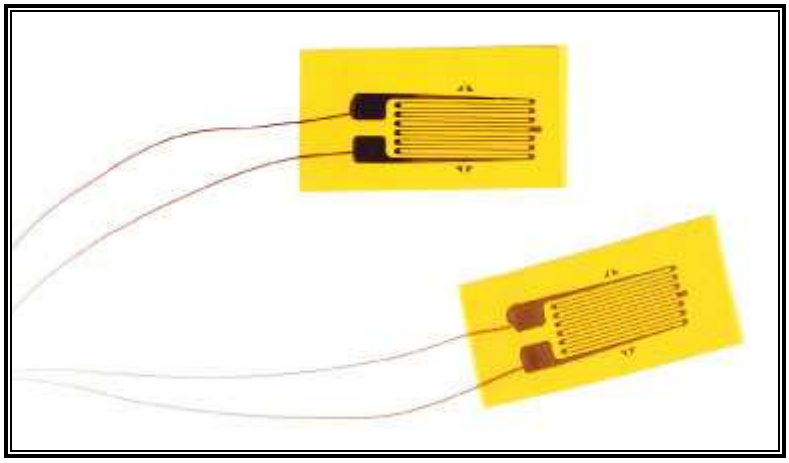
و الثابت غالبا يعطى مع الجهاز أو على المقياس نفسه ويعطى الجهاز قيمة الانفعال مباشرة شكل (١-١٧)

مزايا المقاييس الكهربية للانفعال :

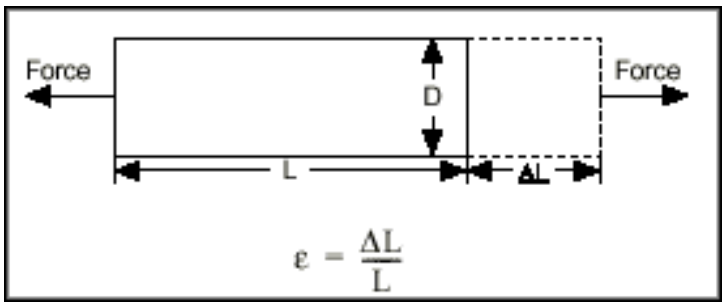
- صغير الحجم لا يتعدى حجم طابع البريد
- يقيس الانفعال مباشرة من قياس التشكل الطولي لعينة الاختبار
- يسهل لصقها على الجسم المختبر
- درجة حساسيتها عالية قد تصل الى قياس انفعال حتى ١٠ ^ ٦- مم/ مم ولا يمكن ان تصل إليها الأجهزة الميكانيكية او الضوئية
- يمكن قياس الانفعالات الديناميكية حيث لا يمكن للأجهزة الميكانيكية والضوئية قياسها .



شكل (١-١٤) مقياس انفعال كهربى



شكل (١–١٥) مقاييس انفعال كهربية (مكبرة)



شكل (١–١٦) فكرة عمل مقياس الانفعال الكهربى

شكل (١- ١٧) جهاز قياس الانفعال

شكل ١-١٨ جهاز تجميع لقياس الانفعال عند أكثر من نقطة