الباب الخامس

سلوك المواد الهندسية تحت تأثير
الضغط الاستاتيكى

(STATIC COMPRESSION)

مقدمة :

اولا — سلوك المواد المعدنية تحت تاثير حمل الضغط الاستاتيكى :

ا — المنحنى البيانى للحمل والتشكل

ب — المنحنى البيانى للإجهاد والإنفعال

جـ — المواد المطيلة

د — المواد القصفة

ثانيا اختبار الضغط :

ا — عينات إختبار الضغط

ب — المخدات وكل التحميل

جـ — طريقة إجراء الإختبار

د — طرق تجنب تأثير الإحتكاك بين سطحى عينة الإختبار ورأس مكنة الإختبار

هـ — ملاحظات الإختبار

ثالثا — انهيار عينات المادن تحت تاثير حمل الضغط :

ا — المواد المطيلة

ب — المواد القصفة

مقدمة :

إن إختبار الضغط بالنسبة لإتجاه الحمل المؤثر ماهوإلا حالةعكسية لإختبار الشد . ويستخدم عادة إختبار الضغط كأساس لقبول المواد غير المعدنية مثل الخرسانة والحجارة والطوب والأخشاب .

ونادراً ما تنص عليه المواصفات لقبول المواد المعدنية نظراً لأن اختبار الشد يعطى المعلومات الهامة اللازمة عن هذه المواد بسهولة أكثر وإذا أجرى إختبار الضغط كاختبار قبول للمواد فإنه يعين منه فقط المقاومة القصوى للضغط .

وقد تجرى اختبارات الضغط للمواد المعدنية وغير المعدنية بغرض بيان خواصها الميكانيكية فى الضغط فمثلا فى المواد المطيلة يمكن تعيين إجهاد الخضوع والرجوعية المرنة كذلك معاير المرونة ، أما المواد القصفة فيعين فقط المقاومة للضغط .

وتوجد عواعل تجعل إختبار الضغط غير صالح لإعطاء نتائج دقيقة من استخدامه كاختبار قبول للمواد أو كاختبار معملى يعتمد على نتائجه فى بيان خواص المواد بكفاية ومن هذه العوامل ما يأتى :

١ ــ صعوبة التأثير بحمل الضغط تأثيراً محورياً حقيقياً على العينة المختبرة .

٢ ــ حالة عدم الإتزان (Unstable) النسبية للتحميل بالضغط بالمقارنة بالتحميل بالشد .

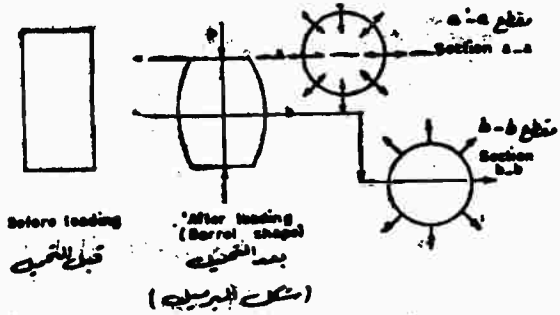
٣ ــ الاحتكاك (Friction) بين رأسى مكنة الاختبار وبين نهايتى العينة المختبرة وهذا الاحتكاك يغير تغييرا ملحوظا نتائج الاختبار عن مثيلاتها لوأجرى اختبار الضغط بدون تواجد الاحتكاك .

٤ — الكبر النسبي للقطع المستعرض لعينة الضغط المستخدمة للحصول على درجة مناسبة من الاتزان للعينة أثناء التحميل . ويتسبب ذلك في ضرورة تواجد مكنات اختبار ذات سعة عالية نسبياً أو يتسبب في استخدام عينات إختبار صغيرة بدرجة تجعل من الصعوبة الحصول على الدقة المناسبة لنتائج الإختبار .

أولا - سلوك المواد اللدنية تحت تأثير حمل الضغط الاستاتيكي :

١ — المنحنى البياني للحمل والتشكل :

إذا تعرضت عينة معدنية أسطوانية الشكل بارتفاع قصير نسبيا إلى حمل ضغط فإنها تنضغط ويتسبب عن ذلك أن يحدث للعينة شكل برميلي (Barrel) نتيجة الزيادة في العرض المساحية للنقص في الطول وتواجد الاحتكاك بين سطحي نهايتي العينة وأمي مكنة الإختبار مما يسبب قلة الزيادة في العرض عند مقاطع نهايتي العينة عنها في مقاطع منتصف العينة بقيم تدريجية تبعاً لمدى تأثير الاحتكاك كما يتبين من الشكل رقم (٥ — ١) .



حدوث الشكل البرميلي للمعادن الطيعة في اختبار الضغط

شكل رقم (٥ — ١)

ويعتبر الإجهاد الحادث من التحميل في حدود المرونة منتظما في توزيعه على مقطع العينة ويساوى حمل الضغط المؤثر مقسوما على المساحة الأصلية للقطع المستعرض أى: $f = p/A_o$ فإذا كانت العينة من معدن تطيل مثل الصلب الطرى فإنه

الاستمرار فى التحميل بالضغط يزيد من إنضغاطها ثم تتفلطح(Flatten) وتستمر فى ذلك ولا يحدث لها كسر مهما إزدادالتحميل . ويكون المنحنى البيانى للحمل والانضغاط كما يتبين من الشكل رقم (٥ — ٢) حيث يلاحظ تواجد منطقة خضوع .

أما إذا كانت العينة من معدن نصف مطيل مثل النحاس الأصفر (Brass) فإنها تنضغط مع ازدياد التحميل ثم تتكسر على مستوى يعمل زاوية حوالى ٥٠ درجة مع الأفقى . ويكون المنحنى البيانى للحمل والانضغاط كما يتبين من الشكل رقم (٥ — ٢) حيث يلاحظ إما عدم تواجد أو تواجد منطقة خضوع تبعاً لظروف معدن العينة من الوجهة التشغيلية أو المعاملة الحرارية . كما يلاحظ وجود حد للمقاومة القصوى للعينة ويعتبر الإجهاد الأقصى للضغط (Ultimate compressive stress) مساوياً الحمل الأقصى مقسوماً على المساحة الأصلية للمقطع المستعرض أى أن : $f_{max} = P_{max}/A_o$

أما إذا كانت العينة من معدن قصف مثل الحديد الزهر (Cast Iron) فإنها تنضغط قليلا جداً ثم تتكسر على مستوى يعمل زاوية حوالى ٥٥ — ٦٠ مع الأفقى ويكون المنحنى البيانى للحمل والانضغاط كما يتبين من الشكل رقم (٥ — ٢) حيث يلاحظ عدم تواجد منطقة خضوع وتواجد حد للمقاومة القصوى للضغط ويعتبر الاجهاد الأقصى للضغط مساوياً الحمل الأقصى مقسوماً على المساحة الأصلية للمقطع المستعرض أى : $f_{max} = P_{max} / A_o$.

المنحنى البيانى للاجهاد والانفعال فى الضغط .

يمكن رسم المنحنى البيانى للاجهاد العادى والانفعال العادى فى الضغط باستخدام المنحنى البيانى للحمل والتشكل واعتبار أن :

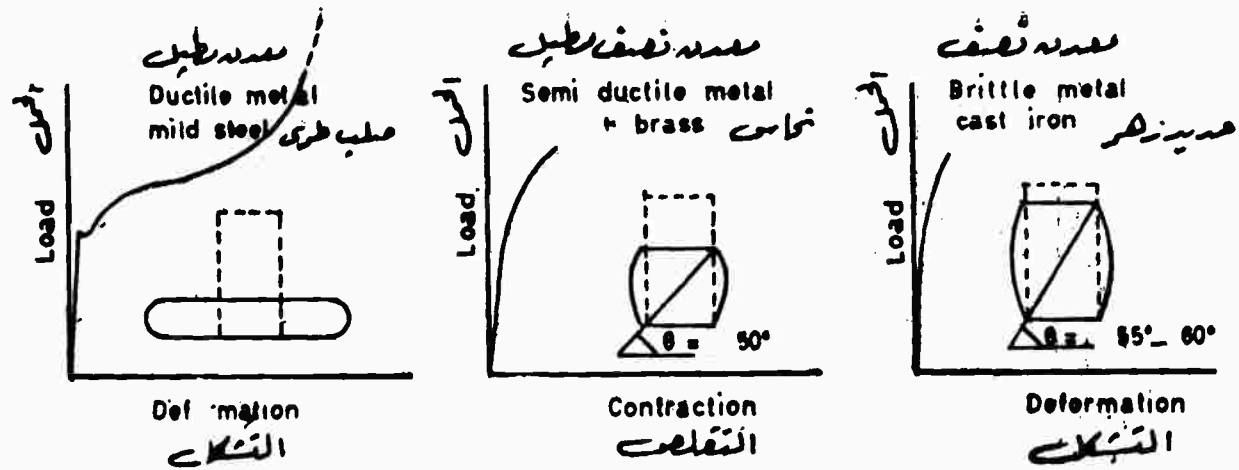
الاجهاد العادى فى الضغط $= f = P / A_o$

الانفعال العادى فى الضغط $= e = \Delta L / L_o$

حيث : P = الحمل المؤثر .

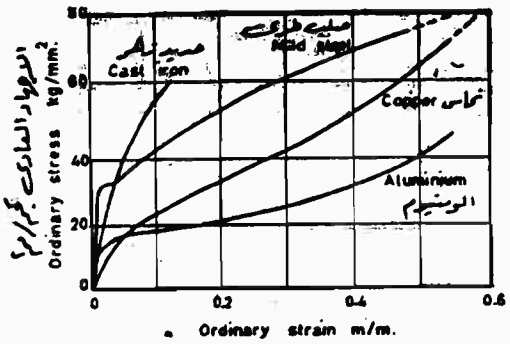
A_o = المساحة الأصلية للمقطع المستعرض ،

ΔL = التشكل ، L_o = الطول الأصلى للعينة .



شكل رقم (٥ — ٢) سلوك المادن المطيلة ونصف المطيلة والاصفة فى اختبار الضغط

ويبين الشكل رقم (٥ — ٣) المنحنيات البيانية للإجهاد العادى والإنفعال العادى لبعض المعادن .



الانفعال العادى م/م

المنحنيات البيانية للإجهاد العادى والانفعال العادى لبعض المعادن فى اختبار الضغط

شكل رقم (٥ — ٣)

كما يمكن رسم المنحنى البيانى للإجهاد الحقيقى والإنفعال الحقيقى فى الضغط على أساس أن :

الإجهاد الحقيقى فى الضغط : $f = P / A$

الإنفعال الحقيقى فى الضغط : $e = Log_e A / Ao$

حيث P = الحمل المؤثر .

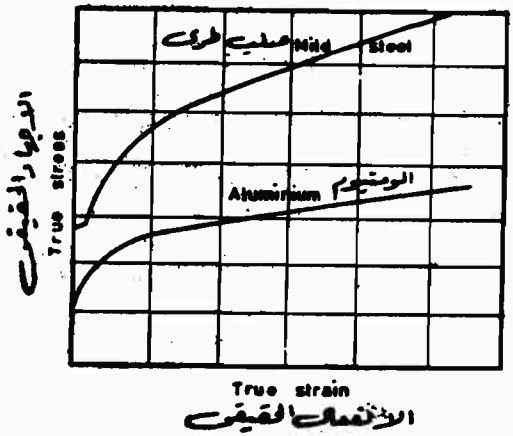
Ao = المساحة الأصلية للمقطع المستعرض .

A = مساحة أكبر مقطع مستعرض بالعينة عند تأثير الحمل P .

ويبين الشكل رقم (٥ — ٤) المنحنيات البيانية للإجهاد والإنفعال الحقيقى لبعض المعادن .

ج — المواد المطيلة : (Ductile Materials)

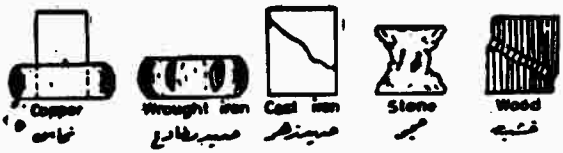
عند إختبار المواد المطيلة مثل الصلب الطرى فى الضغط ، وجد أن التشكل يتناسب



منحنيات الإجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى لبعض المعادن فى اختبار الضغط

شكل رقم (٥ — ٤)

مع الإجهاد كما فى اختبار الشد ، أى أن الصلب يخضع لقانون هوك ، ويلاحظ تساوى قيمة حد التناسب فى الشد والضغط وأيضاً تطابق قيمة إجهاد الخضوع فى الشد والضغط للصلب الطرى . وكلما زاد الحمل على العينة يلاحظ زيادة مساحة المقطع المستعرض ولا يحدث انهيار بالكسر للصلب الطرى أى للمواد المطيلة كما يتضح من الشكل (٥ — ٥) الذى يبين أشكال الإنهيار للمواد المختلفة المطيلة والقصفة .



TYPICAL COMPRESSION FAILURES.

انهيارات الأنضغاط النموذجية (المطابقة)

شكل رقم (٥ — ٥)

ويتحدد معاير المرونة فى اختبار الضغط بحساب ميل الخط لمنحنى الإجهاد والانفعال فى منطقة المرونة كما فى اختبار الشد. وينطبق هذا على جميع الأنواع المطيلة من الصلب .

ويمكن الحصول على بعض الخواص الهامة للمواد المطيلة من اختبار الضغط مثل حد التناسب، إجهاد الخضوع، ومعاير المرونة باستخدام المنحنى البيانى للإجهاد والانفعال .

والجدول التالى رقم (٥ — ١) يبين بعض النتائج لإختبارات بعض أنواع الصلب فى اختبارى الشد والضغط .

جدول رقم (٥ — ١) نتائج خواص الصلب فى الشد والضغط

نوع الصلب	الشد				الضغط		
	حد التناسب كجم/سم^{2}	إجهاد الخضوع كجم/سم^{2}	مقاومة الشد كجم/سم^{2}	معاير المرونه كجم/سم^{2}	حد التناسب كجم/سم^{2}	إجهاد الخضوع كجم/سم^{2}	معاير المرونة كجم/سم^{2}
كربون ١٠٣٥	٤٤١٠	٤٦٩٠	٦٧٩٠	$2,1 \times 10^{6}$	٤٩٦٠	٤٩٧٠	$2,1 \times 10^{6}$
كربون ١٠٤٦	٥٢٥٠	٥٦٠٠	٨٤٠٠	$2,1 \times 10^{6}$	٥٤٦٠	٥٩٥٠	$2,1 \times 10^{6}$
سبيكة ٤٠٣٤	٧٨٤٠	٨٦١٠	٩٤٠٠	$2,1 \times 10^{6}$	٧٦٣٠	٨٨٩٠	$2,1 \times 10^{6}$

وإذا كانت المادة لينة مثل النحاس أو الألومنيوم، يلاحظ زيادة كبيرة فى مساحة مقطع عينة الإختبار وتشبه الشكل المبين فى الشكل رقم (٥ — ٥)، ويفضل اختيار عينات اسطوانية الشكل فى اختبار الضغط بحيث لا تزيد نسبة الطول إلى العرض عن ٤ فى حالة استعمال مقاييس الانفعال العنوئية ويمكن أن تقل هذه النسبة عن ٢ فى حالة عدم قياس التشكل وتعيين المقاومة القصوى للضغط فقط .

وقد وجد « فريمان » (Freeman) فى المواد المطيلة جداً مثل معدن البابيت (Babbitt Metal) أنه يمكن اختيار نسبة تساوى ٣ وعموما يفضل العينات بنسبة ١:٢ لجميع المواد المطيلة ، ونسبة ١ : ٤ فى حالات خاصة ويمكن استخدام نسبة ١:٦ أحياناً عند تثبيت مقاييس الانفعال على العينة .

د — المواد القصفة : Brittle Materials

فى المواد القصفة مثل الحديد الزهر ، يمكن استعمال مقياس الإستطالة ذو حساسية

لقياس التشكل وذلك للقيم الصغيرة من الاجهاد لا يتناسب مع الانفعال أى أن المادة لا تخضع لقانون هوك ، وقد إقترح « باخ » (Bach) العلاقة الآتية : .

$$\varepsilon E = S^n \qquad \ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث :

E = Modulus of elasticity (lb / in²)

ε = Strain

S = Stress (lb / in²)

n = Constant

ويمكن إستعمال هذه العلاقة فى اختبار المواد مثل الحديد الزهر والأحجار والخرسانة ويلاحظ أن هذا القانون غير صحيح عندما يكون الاجهاد يساوى صفر .

ومن المعادلة رقم (١) :

$$S = (\varepsilon E)^{1/n}$$

$$\frac{d\varepsilon}{dn} = \frac{1}{n}\left[E^{\frac{1}{n}} \cdot \varepsilon^{\left(\frac{1}{n}-1\right)}\right] \qquad \ldots\ldots\ldots (2)$$

ولتحقيق هذه العلاقة :

عندما $n > 1$ والإجهاد صفر فإن ميل الخط = مالا نهاية أى أن منحنى الإجهاد والانفعال يقترب من الانطباق على محور الاجهاد .

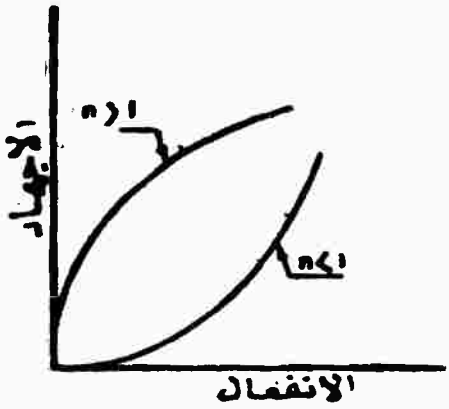
وعندما تكون $n < 1$ والاجهاد يقترب من الصفر فإن المنحنى يقترب من محور الانفعال لذلك نجد أن المعادلة رقم (٢) تمثل بمنحنى كما فى الشكل رقم (٥ — ٦) وقد وجد أن الحديد الزهر يخضع لقانون هوك وذلك عند القيم الصغيرة للإجهادات وقد إقترحت العلاقة الآتية بين الاجهاد والانفعال :

$$\varepsilon = (S + b_1 S^2 + b_2 S^3 + \ldots) \qquad \ldots (3)$$

ومنها يمكن إستنتاج العلاقة التالية التى تتفق مع قانون هوك وذلك عندما تقل قيمة الاجهاد :

$$\varepsilon = \frac{S}{E}$$

ويتضح من هذا أن العلاقة السابقة تنطبق على الحديد الزهر لأنه كلما صغر



شكل رقم(٥ — ٦) منحنى الاجهاد والانفعال فى اختبار الضغط

الاجهاد فإن المادة تخضع لقانون هوك بينما فى القيم الكبيرة للإجهاد تلاحظ أن الخط المستقيم ينحرف على شكل منحنى .

ويلاحظ إنهيار الحديد الزهر بالكسر عند زيادة الحمل ونظراً لأن مقاومة الشد الحديد الزهر أقل من مقاومته فى القص ، فتكون زاوية ميل مستوى الإنهيار عن محـــور الاجهاد بسبب قوى القص على المستوى المائل ، كما هو مبين بشكل رقم (٥ — ٥) وجدير بالذكر أن جميع المواد القصفة فى إختبار الضغط تتشابه فى شكل الانهيار .

أما فى مكعبات الحجر والأسمنت فإنها تنهار بتأثير قص مزدوج كما فى شكل رقم (٥ — ٥) ويتحدد شكل إنهيار الأخشاب حسب نوعها ويتضح هذا من شكل رقم (٥ — ٥) ، وفى جميع الحالات فإن لابعاد قطعة الاختبار تأثير كبير على شكل الانهيار ، وفى العادة تكون قطعة إختبار الحديد الزهر ذات شكل إسطوانى (ل = ٢ ق) ، أما عينات الخرسانة والأحجار فإنها تكون مكعبة الشكل ، وقد أوضع « جهلر » (Gehler) أنه فى العينات المنشورية يمكن إهمال تأثير قوى الاحتكاك عند سطحى العينة إذا كان الطول = ٣ أمثال أصغر ضلع لسطح العينة ، أما إذا زاد الارتفاع عن هذه النسبة فإن المقاومة القصوى تحتفظ بنسبتها لمقاومة العينة المكعبة عند إهمال تأثير الانبعاج . وفى المواد القصفة يكفى معرفة خواص

المقاومة للضغط . والنسبة بين الإجهاد والإنفعال تتوقف على قيمة الإجهاد حيث تكون كبيرة للإجهادات الصغيرة ، ولابد من بيان الإجهاد المحسوب على أساسه معايير المرونة عند استخدامه فى حساب التصميم ويكون هذا ضرورياً فى تطبيقات الخرسانة المسلحة ، ونظراً لأن مطولية الحديد الزهر العادى فى إختبار الشد صغيرة جداً لذلك فإن مقاومته للضغط تعتبر ذات أهمية كبرى .

ثانيا — اختبار الضغط

عينات اختبار الضغط :

تفضل عينة الإختبار الإسطوانية عن الأشكال الأخرى لأنها تعطى إجهادات منتظمة وكثيراً ما تختبر عينات مربعة أو مستطيلة المقطع ، فمثلا فى العينات المصنعة مثل البلاط فإنه يصعب عمل عينة مستديرة .

واختيار النسبة بين الطول والقطر لعينة ضغط ترتبط ببعض العوامل فكلما زاد طول العينة كلما كان هناك إحتمال لوجود انحناء زيادة عن عدم انتظام توزيع الإجهادات على الأسطح العمودية ، وقد اقترح ألا تزيد نسبة الطول إلى القطر عن ١٠ وكلما كانت العينة قصيرة فإن تأثير الاحتكاك عند النهاية يصبح ذو أهمية وخصوصاً للأطوال أقل من ١,٥ مرة قطر العينة حيث المستويات القطرية التى يحدث عليها الإنهيار تقطع القاعدة مما ينتج عنه زيادة فى المقاومة الظاهرية .

والنسبة شائعة الاستعمال بين الطول والقطر هى ٢ أو أكثر وتختلف هذه النسبة باختلاف المواد . وإذ كان الغرض من الاختبار دراسة الانفعال فى عينة إختبار معينة فإنه يفضل أن تكون هذه العينة طويلة .

وتعتمد أبعاد عينة الاختبار على نوع المادة والقياسات المطلوبة وأجهزة الاختبار المستخدمة . فمثلا للمواد المتجانسة حيث أن المقاومة القصوى أهم عنصر فيمكن إختبار عينة قصيرة ، أما المواد غير المتجانسة مثل الخرسانة فإن مقاس العينة يتوقف على المقاس الاعتبارى الأكبر للركام ، ويجب أن تكون أسطح العينة المعرضة للتحميل أفقية

ومتعامدة على محور العينة ، وذلك بعمل غطاء للسطح ، ويفضل أن يكون طول القياس للعينة أقل من طولها بمقدار القطر على الأقل .

ويجب أن تستوفى عينات إختبار الضغط للمعادن الاشتراطات الآتية :

١ ــ أن تكون العينات ذات مقطع دائرى أى تكون إسطوانية وذلك حتى يكون توزيع التحميل منتظما على مسطح كل من نهايتى العينة عند التأثير بالحمل بمكنة الاختبار .

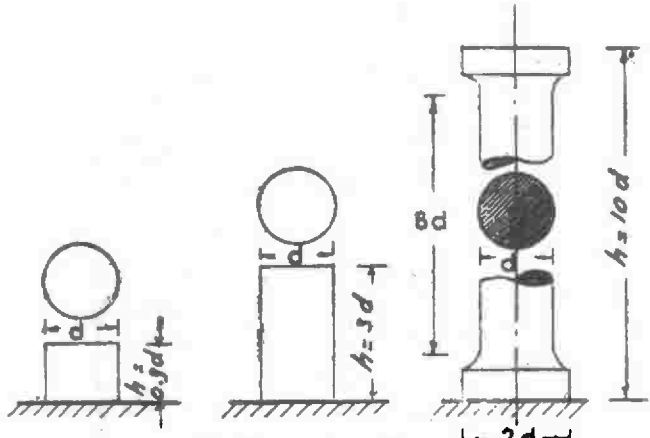
٢ ــ أن تكون العينات ذات إرتفاع لا يتجاوز ١٠ مرات قطر المقطع (أى أقل بعد فى المقطع المستعرض حتى لا يحدث انبعاج (Buckling) الذى يسبب تواجد عزوم انحناء على العينة بجانب حمل الضغط .

٢ ــ يكون سطحا نهايتى العينة مستويين ومتوازيين وعموديين على محور العينة وذلك حتى يكون التحميل محورياً .

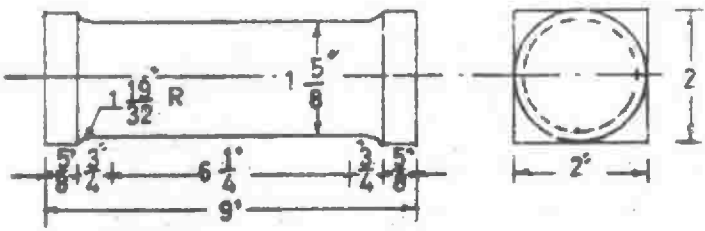
عينات الاختبار القياسية :

والعينات القياسية لاختبار الضغط للمعادن ثلاثة أنواع هى العينة الطويلة حيث الطول = ٨ إلى ١٠ مرات قطر المقطع والعينة المتوسطة حيث الطول = ٣ مرات قطر المقطع والعينة القصيرة حيث الطول = ٩ , . قطر كما يتبين من الشكل رقم (٥ ــ ٧) .

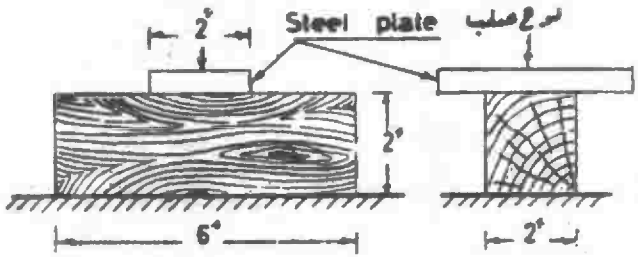
وتستخدم العينة الطويلة عند إجراء إختبار الضغط بغرض رسم المنحنى البيانى للحمل والتشكل حتى يمكن تركيب أجهزة قياس التغير فى الطول على العينة ، كذلك بغرض تعيين حد التناسب وإجهاد الخضوع للضغط . أما العينة المتوسطة فتستخدم عند تعيين مقاومة الضغط للمعادن ، أما العينة القصيرة فإنها تستخدم لاختبار معادن المحامل (Bearing metals) حيث يكون تأثير الاحتكاك الموجود عند نهايتى العينة مشابها لحالة تشغيل معادن المحامل . ويبين الجدول رقم (٥ ــ ٢) بعض الأبعاد المقترحة لعينات إختبار الضغط للمعادن ،



(a) Metallic materials. مواد معدنية



(b) Wood parallel to grain. خشب موازٍ لاتجاه ترتيب الالياف



(c) Wood perpendicular to grain. خشب عمودي على اتجاه ترتيب الالياف

شكل رقم (٥ — ٧) عينات اختبار الضغط

جدول رقم (٥ — ٢) — الأبعاد المقترحة لعينات إختبار الضغط للمعادن

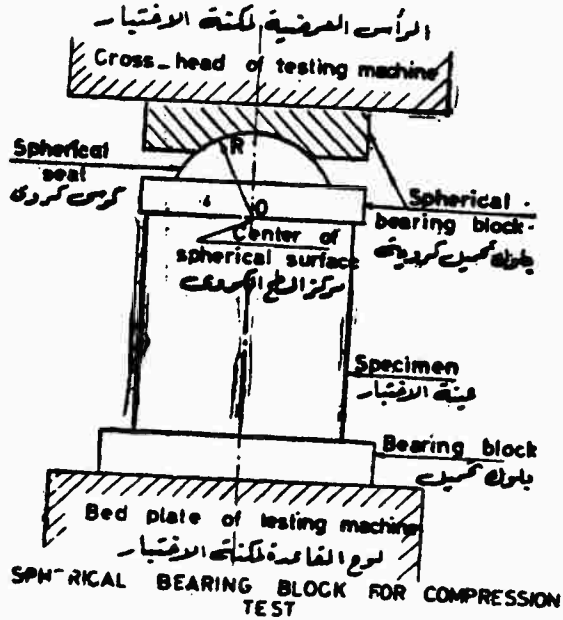
النوع	قطر (ق)		الارتفاع (ل)	
	بوصة	م	بوصة	م
قصيرة	$1\frac{1}{8}$	٢٨	١	٢٥
متوسطة	$\frac{1}{2}$	١٢,٥	$1\frac{1}{2}$	٣٧
	٠,٧٩٨	٢٠	$2\frac{3}{8}$	٦٠
	١	٢٥	٣	٧٥
	$1\frac{1}{8}$	٢٨	$3\frac{3}{8}$	٨٥
طويلة	٠,٧٩٨	٢٠	$6\frac{3}{8}$	١٦٠
	$1\frac{1}{4}$	٣١	$12\frac{1}{2}$	٣١٢

وتختبر العينات القصيرة باستعمال قطعة إرتكاز الاختبارات العادية وتختبر العينات متوسطة الطول والعينات الطويلة لتعيين معاير المرونة، وعند اختبار عينات من شرائط المعادن في الضغط فيجب تحميل عينة الاختبار بطريقة تمنع الانبعاج الجانبي بدون تداخل مع الانفعال المحورى للعينة . والعينة القياسية للخرسانة تكون إسطوانة طولها ضعف قطرها ، والركام الذى مقاسه الاعتبارى ٥٠ مم تكون الاسطوانة ١٥ × ٣٠ سم وإذا كان المقاس الاعتبارى لغاية ٧٥ مم تكون الاسطوانة ٢٠ × ٤٠ سم، وللمقاس الاعتبارى ٢٠ مم إسطوانة ٧,٥ × ١٥ سم ، وفى الخرسانة الكتلية التى مقاسها الاعتبارى حتى ١٥ سم تكون الاسطوانة ٤٥ × ٩٠ سم .

أما فى انجلترا وأوربا فعينة اختبار الخرسانة مكعبة ١٥ × ١٥ × ١٥ سم ، وللمونة أسطوانة ١٠ × ٥ سم ، والخشب مكعب ٥ × ٥ × ٥ سم إذا كان الحمل موازى لترتيب الألياف ، ٥ × ٥ × ١٥ سم إذا كان الحمل عمودى على ترتيب الألياف . كما فى الشكل رقم (٥ — ٧) ، أما فى الطوب فيمكن إختباره على نصف طوبة بحيث تكون أسطحها مستوية ومتوازية .

ب ـ المخدات وكتل التحميل :

يجب أن يكون سطحا التحميل مستويين وعموديين على محور العينة حتى لا يسبب تركيز للاجهادات أو إنحناء العينة ولذلك تقع عينة المعادن بحيث تكون أسطحها أفقية وعمودية على المحور . وتنشر عينات الخشب بحيث تتوافر هذه الشروط . أما في الخرسانة والطوب والأحجار فلابد من عمل غطاء أو مخدة للعينة من الجبس أو الاسمنت سريع التصلد ، وعند وضع ألواح الإرتكاز يجب التأكد من أنها عمودية على المحور ولابد من تساوى المقاومة ومعاير المرونة لكل من لوح الإرتكاز والمادة المختبرة ما أمكن . وأن يكون الغطاء ذو سمك مناسب ، وفى العادة ترتكز إحدى نهايتى عينة الاختبار على قاعدة كروية كما فى الشكل رقم (٥ — ٨) . والغرض من القاعدة الكروية هو ضمان إنطباق محور العينة ومكنة الاختبار مما يعطى توزيعا منتظما للاجهادات.



شكل رقم (٥ — ٨) قاعدة ارتكاز كروية لاختبار الضغط

ويفضل أن تكون القاعدة الكروية على السطح العلوى للعينة ، ولكى تكون محصلة القوى على السطح متمركزة مع محور العينة ، فمن الضرورى أن يكون مركز

السطح الكروى لهذه القاعدة منطبق على السطح الأفقى للعينة بالرغم من جعل العينة محورية مع محور الكرة ، وبالنسبة إلى زيادةمقاومة الإحتكاك مع زيادة الحمل فإن القاعدة الكروية تتحرك نتيجة الإنحناء الناتج من التحميل ، وفى إختبارات خاصة يمكن عدم إستعمال الجزء الكروى بينما فى حالات أخرى يستعمل قاعدتين كرويتين ، كما يجب أن تكون أبعاد قاعدة الإرتكاز أكبر من قطر العينة .

ج — طريقة اجراء الاختبار :

فى الإختبارات التجارية تقاس فقط المقاومة القصوى للضغط وخصوصا للمواد القصفة ويمكن بسهولة تحديد تلك المقامة بدقة وتراعى عند تجهيز عينات الاختبار أن يسمح بتغير فى مقاساتها بالحدود الآتية : المعادن = ٢٥ . ٠ , ٠ مم
الخرسانة أو الخشب = ٢٥ , ٠ مم .

وتقاس عينات الإختبار الإسطوانية على قطرين متعامدين على الأقل،وإذا إحتاج الأمر لمعرفة الوزن الحجمى للخرسانة فيمكن وزن العينة بميزان حساسيته ٠,٠٥ ٪ ويجب العناية بوضع العينة فى مكنة الإختبار بحيث تكون محورية تماماً ، وفى الإختبارات الدقيقة يجب إنطباق كل من محور العينة ولوح الإرتكاز مع محور مكنة الإختبار بسماح مقداره ٢٥ , ٠ مم ، ويفضل أن يعدل الجزء العلوى من لوح الإرتكاز باليد عندما تبدأ مكنة الإختبار فى الهبوط لتنطبق مع سطح العينة وذلك لتسهيل إرتكاز جزء المكنة . ويجب تنظيف سطحى عينة الإختبار ومكنة الإختبار بأى مادة قبل الإختبار،وذلك لازالة الشحومات الموجودةوالتى يمكن أن تؤثر على الاحتكاك الموجود بين الأسطح .

وتتوقف سرعة التحميل فى الضغط للكتلات ذات الترس واللولب على سرعة رأس المكنة ، وفى بعض الاختبارات يمكن ضبط المكنة على سرعات بطيئة . وسرعة المكنة فى إختبار عينات الخرسانة تتراوح بين ٥ , ٢ — ٥٠ , ٠ مم / دقيقة ويفضل أخذ معدل زيادة الحمل ، كما فى الجدول رقم (٥ — ٣) ، وقد تحدد معدل الزيادة فى الحمل ٥ , ٢ كجم / سم٢ / ثانية وذلك لاختبارات مقاومة

الخرسانة للضغط ، وفى بعض الحالات يمكن السماح بأى سرعة مقبولة حتى نصف الحمل الأقصى ، وإذا كان الغرض من الاختبار دراسة العلاقة بين الاجهاد والانفعال فيكون المعدل بين ٦, ١ — ٤,٩ كجم / سم / دقيقة . وعند إجراء إختبار الضغط يراعى انتظام توزيع الإجهادات على السطح .

جدول رقم (٥ — ٣) السرعات المطلوبة لمكنات الاختبار

نوع المادة المختبرة	أكبر سرعه لمكنه الاختبار سم / دقيقة	معدل التحميل كجم / سم٢ / ثانية	الزمن حتى النصف الأخير للحمل (ثانية)
المواد المصنعية			
طوب يتراوح بين ٢٥-٥٧ مم	١,٢٥		
طوب أكبر من ٥٧ مم	٢,٥		
الخرسانة :	١,٢٥	١,٥ — ٤,٥	
المونة :			٢٠ — ٨٠
الخشب :			
موازى لترتيب الألياف	٠,٦		
عمودى على ترتيب الألياف	٠,٣		
الطوب :			٦٠ — ١٢٠
البلاط :			
البلاستيك	١,٢٥ من ١,٢٥ حتى نقطة الخضوع ثم من ٠,٥ إلى ٠,٦٢٥		

الاحتياطات اللازم مراعاتها عند إجراء الضغط :

١ — أن يكون الحمل المؤثر على العينة محوراً قيمة واتجاها أى أن ما تبينه

مكنة الاختبار هو نفسه المؤثر على العينة حيث صغر مقطع العينة المختبرة بالنسبة للمساحة برأس مكنة الاختبار يؤثر فى قيمة الحمل المنتقل إلى العينة ويتغلب على ذلك باستخدام قطع الارتكاز (Bearing Blocks) توضع بين نهايتى العينة وبين مكنة الاختبار . وتكون تلك القطع بمقطع أكبر من مقطع العينة وأقل من مسطح رأس مكنة الاختبار كما يتبين من الشكل رقم (٥ — ٩) كذلك لكى يكون الحمل المؤثر صحيحا فى الاتجاه أى رأسيا دائما فيجب أن تكون رأس مكنة الاختبار ذات مرتكز كروى (Spherical Bearing) شكل رقم (٥ — ٩)' وهذا المرتكز يعدل مباشرة أى انحراف فى ميل الحمل ويجعله محورياً دائما .

٢ — يجب منع لامحورية التحميل (Eccentricity) ويكون ذلك بجعل كل من نهايتى العينة مسطحا وعموديا على محور العينة شكل رقم (٥ — ١٠) كذلك يجعل محور العينة منطبقاً مع محور مكنة الاختبار شكل رقم (٥ — ١٠) .

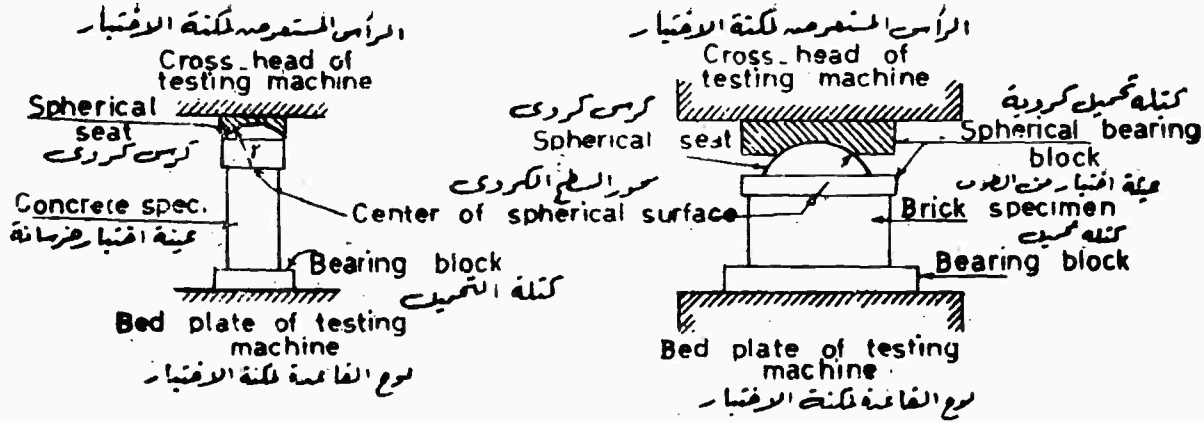
٣ — يجب منع حدوث الانبعاج الجانبي (Buckling) ويكون ذلك بجعل إرتفاع العينة المختبرة لا يزيد على ١٠ مرات قطر المقطع المستعرض .

د — طرق تجنب تأثير الاحتكاك بين سطحى عينة الاختبار ورأس مكنة التحميل :

فى إختبار الضغط لا يوجد توزيع منتظم للاجهادات على عينة الاختبار ، ويرجع ذلك إلى وجود الاجهادات القطرية والمماسية لقوى الاحتكاك بين سطحى قطعة الاختبار وبين رأسى مكنة الاختبار .

ويمكن تجنب هذه القوى غير المرغوب فيها ، وذلك بتشحيم هذه الأسطح المعرضة للإحتكاك باستعمال مادة مناسبة للتشحيم ، ولا يمكن تجنب القوى المسببة للاحتكاك تماماً بالتشحيم عندما تكون الأسطح غير منتظمة .

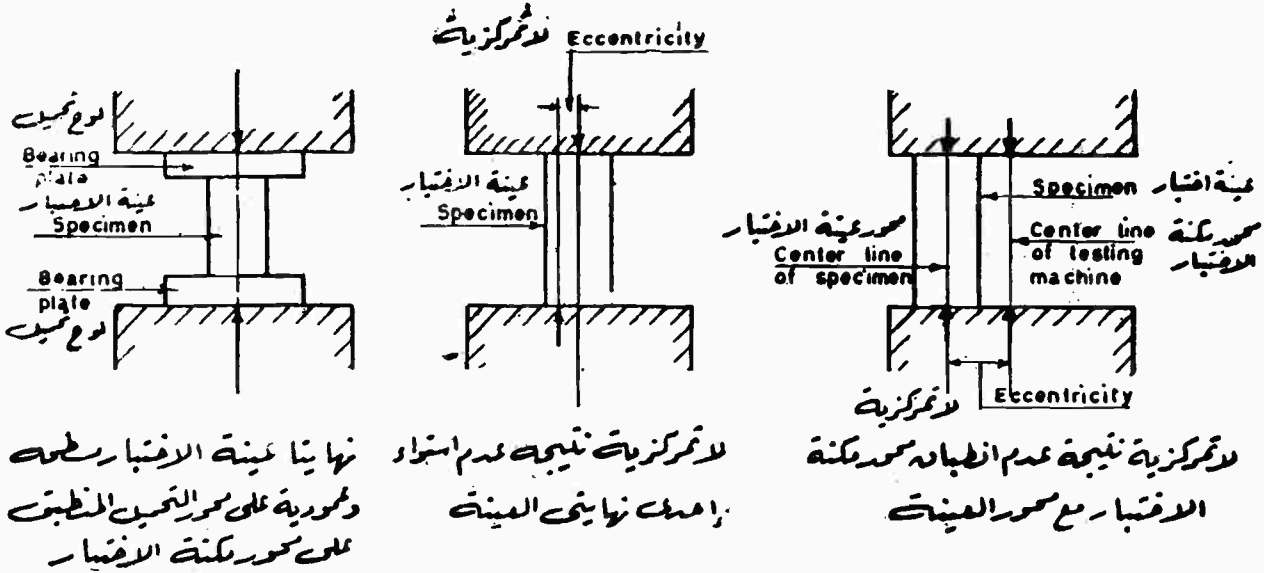
وقد إقترح كل من « ميسير ونيهل » طريقة للحصول على تشكل منتظم بقطعة الاختبار وذلك بجعل قطعة الاختبار من ثلاثة أجزاء وبذلك ينتظم التغيير فى شكل الجزء الأوسط من عينة الاختبار، وهذه الطريقة تتبع فى المواد ذات التغير القليل فى الشكل



SPHERICAL BEARING BLOCKS FOR COMPRESSION TESTS

كتله التحميل الكروية لاختبارات الانضغاط

شكل رقم (٥ ٩)



شكل رقم (٥ — ١٠)

بعض أوضاع عينة إختبار الضغط بمكنة الاختبار

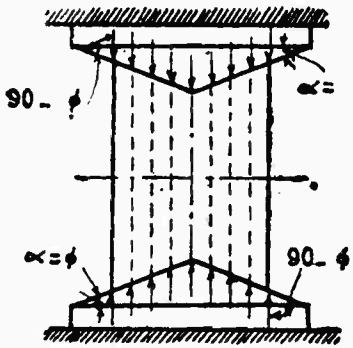
ويلاحظ عدم قياس الانكماش فى الجزء الأوسط من العينة بواسطة حركة رأس مكنة الاختبار .

وقد إقترح « زيبل وبومب » طريقة أخرى للتقليل من الاحتكاك ، وذلك بجعل رأسى مكنة الاختبار بحيث تميل بزاوية مقـــدارها α على سطحى عينة الاختبار (حيث α تساوى زاوية الاحتكاك بين السطحين) . وبذلك يتوازى إتجاه الاجهادات مع محور قطعة الاختبار وتحتفظ قطعة الاختبار بشكلها الإسطوانى بعد الاختبار ، ولكن عيب هذه الطريقة الوحيدة هو عدم تساوى توزيع الانفعال على مقطع عينة الاختبار

ويمكن إهمال ذلك لو صغرت زاوية الميل (α) لتكون بقيمة تتراوح من ظا α ٠٥٠ ، إلى ظا ٢٥ ، ٠ أى من $\alpha = ٣°$ إلى $\alpha = ١٤°$ كما فى الشكل رقم (٥ — ١١) وأيضاً بدهان وتشحيم سطحى عينة الاختبار يمكن تقليل الاحتكاك مع رأسى مكنة الاختبار .

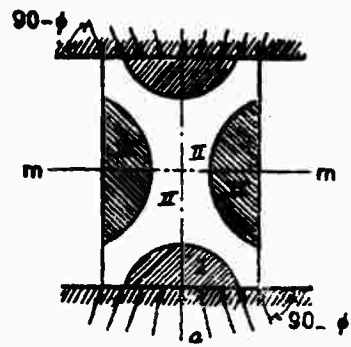
ملاحظات الإختبار :

يجب تسجيل الأبعاد ، قيمة الاحمال ، قراءات الانفعال ، شكل الكسر مع



HOW TO AVOID EFFECT OF FRICTION IN COMPRESSION TEST

كيفية التغلب على تأثير الاحتكاك فى اختبار الانضغاط



FRICTION ZONES IN COMPRESSIVE SPECIMEN

مناطق الاحتكاك فى عينة إختبار الانضغاط

شكل رقم (٥ — ١١)

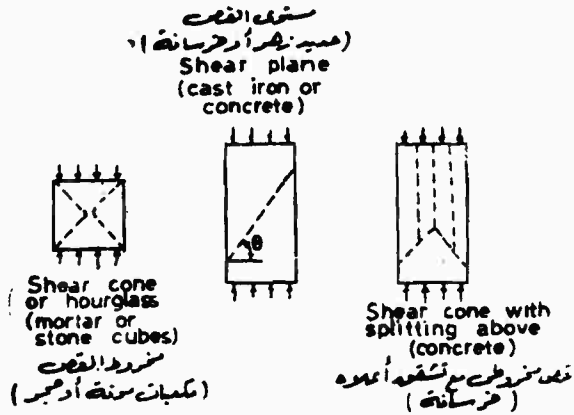
التوضيح بالرسم . وشكل الكسر فى المواد القصفة إما أن يكون على مستوى مائل أو على شكل مخروطى (فى العينات الاسطوانية) أو على شكل هرمى (العينات المنشورية) وشكل الكسر فى الحديد الزهر يكون عادة على مستوى مائل ، وفى الخرسانة على شكل مخروطى وهذه الانهيارات على مستويات قص كما هو موضح بالشكلين رقم (٥-١٢)، (٥-١٣)

وفى المواد التى يكون إنهيارها نتيجة الاحتكاك الداخلى والتماسك بين مكونات العينة والتى توافق نظرية (موهر) ، يتضح أن زاوية الكسر ليست ٤٥° (مستوى أقصى إجهاد قص) ولكنها تتوقف على زاوية الاحتكاك الداخلية (ϕ)

والشكل رقم (٥ — ١٤) يوضح دائرة موهر لعينة معرضة لاجهادات منتظمة.

ويتضح من الشكل المبين أن $\alpha = ٤٥° - \frac{\phi}{٢}$ أو $\theta = ٤٥ + \frac{\phi}{٢}$

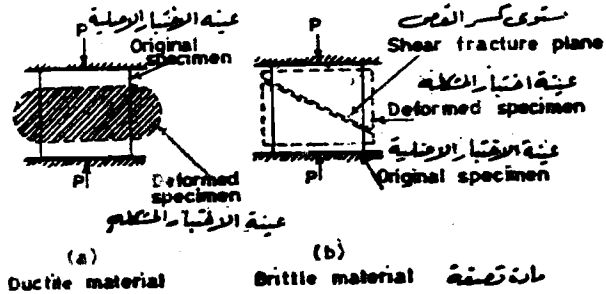
وهذه النظرية لا تعطى نتائج صحيحة فى الحديد الزهر أو الخرسانة أو السيراميك حيث أن عدم التجانس فى هذه المواد لا يعطى إجهادات منتظمة ، وزيادة على ذلك فإن زاوية الكسر يمكن أن تتغير عن القيمة النظرية نتيجة للاجهادات المركبة .



TYPES OF FAILURE OF BRITTLE MATERIALS
UNDER COMPRESSIVE LOADING

أنواع الكسر فى المواد القصفة تحت تحميل الانضغاط

شكل رقم (٥ — ١٢)



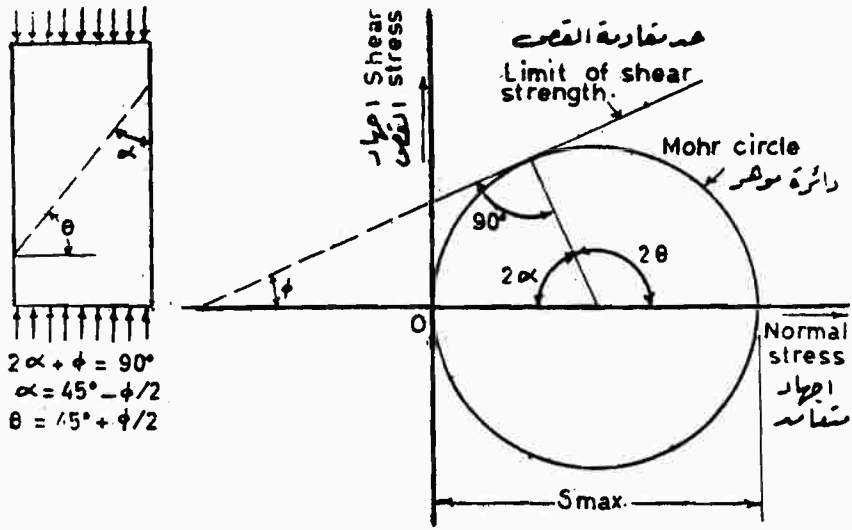
FAILURE OF DUCTILE AND BRITTLE MATERIALS IN COMPRESSION.

كسر المواد المطيله والقصفه فى اختبار الانضغاط

شكل رقم (٥ — ١٢)

الناتجة عن سطحى عينة الاختبار لوجود الاحتكاك بين سطحى العنية ومكنة الاختبار ، ويتضح هذا التأثير فى العينات القصيرة . والزاوية θ للمواد المختلفة مثل الحديد الزهر والحجر الرملى والطوب والخرسانة تتراوح بين ٥٠° — ٦٠° وذلك للعينات ذات الطول المناسب الذى يسمح بحدوث الإنهيار العادى . أما إذا كانت العينة قصيرة حيث لاتنهار بشكل عادى على طول العينة فإن المقاومة تزيد وينتج عن هذا تغير فى شكل الإنهيار مثل حالة التهشيم .

وعند إختبار عينة قصيرة من مادة قصفة يلاحظ الإنهيار بحدوث فواصل رأسية وتتعدد أشكال إنهيارات العينات الخشبية حيث أنها مادة لها صفات متغيرة فى جميع الإتجاهات حيث تتكون من خلايا متكونة من النمو العضوى والتى ترتب نفسها على هيئة أنابيب أو أعمدة فى إتجاه ترتيب الالياف ونتيجة لهذا البناء تقل قيمة حد المرونة ، ولاتوجد نقطة خضوع ، وتختلف هذه الخواص باختلاف إتجاه التحميل بالنسبة لترتيب الالياف . فالتحميل المسبب للإنهيار للخشب لو كان مؤثراً عمودياً على إتجاه الألياف فإنه يكون أقل قيمة مما لو كان مؤثراً موازيا لاتجاه الالياف حيث تعمل الالياف فى الحالة الأخيرة كأعمدة أنبوبية تقاوم أكثر تأثير التحميل ويحدث الانهيار للخشب نتيجة لتهشيم الانابيب والشكل رقم (٥ — ١٥) يوضح



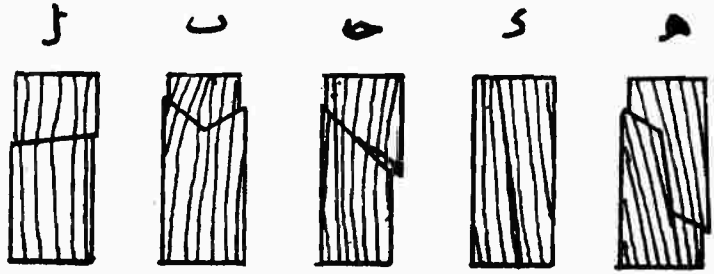
RELATION BETWEEN ANGLE OF RUPTURE ∝ AND ANGLE OF INTERNAL FRICTION ϕ.

العلاقة بين زاوية الكسر ∝ وزاوية الأحتكاك الداخلى ϕ

شكل رقم (٥ — ١٤)

الاشكال المحتملة لانهيارات الخشب عندما يكون الحمل موازيا لترتيب الالياف .

أما المواد المطيلة فإنها تتشكل جانبياً عند الضغط وتشبه البرميل بحيث لا تنحنى أو تنبعج ، أما المواد الاقل مطولية أوالمتصلدة سطحياً فإنها تتشقق سطحياً وتكون الشروخ موازية لاتجاه التحميل وبالتالى يظهر الانهيار بوضوح .



ا — السحق ب — الانفصال الحابورى ج — القص
د — الانفصال هـ — القص والانفصال فى اتجاه ترتيب الألياف.

شكل رقم (٥ — ١٥) انهيار الخشب عندما يكون الحمل فى اتجاه ترتيب الألياف

ثالثا — إنهيار عينات الاختبار تحت حمل الضغط

ا — المعادن المطيلة :

يكون انهيار المعادن المطيلة تحت تأثير حمل الضغط ليس بالكسر لأنها تتفلطح بالضغط ولكن يكون عندما يتعدى الضغاط هذه المعادن القيمة المحددة المسموح بها تبعا لحالة الجزء المعدنى أثناء عمله . ويلاحظ أنه فى بعض الحالات الخاصة مثل الحديد المطاوع أو المعادن المصلدة بالتغليف (Case hardened) فان التفلطح يكون مصحوباً بشروخ سطحية رأسية متوازية مع محور تحميل العينة شكل رقم (٥ — ٥) .

ب — المعادن نصف المطيلة والمعادن القصفة :

يكون إنهيار هذه المعادن بالكسر على مستوى يميل بزاوية (Θ) مع المستوى الأفقى أى مستوى المقطع المستعرض للعينة المختبرة . وهذه الزاوية أكثر من ٤٥ دوجة تساوى :

$\Theta = 45 + \phi / 2$ حيث ϕ عبارة عن زاوية الاحتكاك (Angle fo friction) للمعدن المختبر . وبذلك تكون زاوية ϕ كبيرة كلما كبرت جزيئات المعدن أى كبرت زاوية احتكاكه مثل الحديد الزهر (زاوية الكسر Θ تساوى ٦٠ درجة) بينما فى حالة النحاس الأصفر حيث جزيئاته أدق من الحديد الزهر فإن زاوية الكسر Θ تساوى ٥٠ درجة .

ويمكن إثبات أن : $\Theta = 45 + \frac{\phi}{2}$ كما يلى :

العينة المبينة بالشكل رقم (٥ — ١٦) كسرت بتأثير الضغط تحت إجهاد قيمته (f) على مستوى يعمل زاوية قدرها Θ مع الأفقى .

وكانت زاوية ϕ تمثل زاوية الاحتكاك للمعدن المختبر وهى رقم ثابت للمعدن الواحد .

مساحة مقطع العينة = A والحمل المؤثر = P

إجهاد الضغط الأقصى = f = P/A

مساحة مقطع العينة على مستوى الكسر = A sec θ

القوة P المحدثة للكسر تؤثر على مستوى الكسر بمحصلتين (Components) إحداهما عمودية على المستوى (N) والأخرى موازية للمستوى (Q) وقيمة كل منهما :

$$N = P \cdot \cos\theta \qquad Q = P \cdot \sin\theta$$

∴ الاجهاد العمودى على مستوى الكسر = الحمل العمودى / مساحة المستوى

$$\cos^2\theta = P / A \text{ و } \cos^2\theta = P \cdot \cos\theta / A \sec\theta =$$

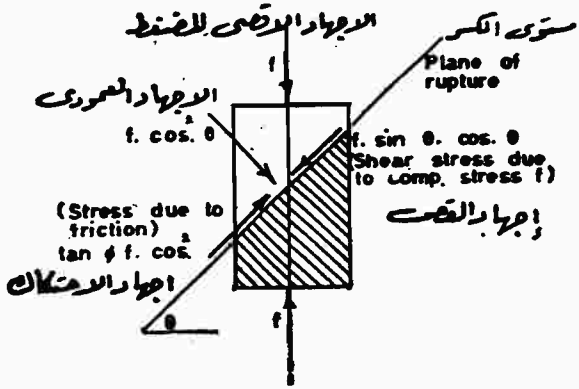
والاجهاد الموازى لمستوى الكسر = الحمل الموازى / مساحة المستوى

$$f \sin\theta \cos\theta = P / A \cdot \sin\theta \cos\theta = P \cdot \sin\theta / A \sec\theta =$$

كما أن الاجهاد العمودى على مستوى الكسر يسبب إجهاد إحتكاك فى عكس اتجاه الحركة قيمته = $\tan\phi$ .f. $\cos^2\theta$

ويؤثر ذلك الاجهاد فى اتجاه مضاد لاتجاه الاجهاد الموازى لمستوى الكسر السابق ذكره والناتج من القوة الخارجية (P) .

يتبين إذن مما سبق ومن الشكل رقم (٥ — ١٦) أن الاجهادات المسببة الكسر



زاوية ميل مستوى الكسر للعينات المضغوطة فى اختبار الضغط

$\theta = 45 + \phi/2$

شكل رقم (٥ — ١٦)

عل المستوى الذى يعمل Θ مع الافق هى نتيجة فرق تأثير الاجهاد الموازى لمستوى الكسر الناتج من القوة (P) وتأثير إجهاد الاحتكاك الحادث نتيجة مقاومة وتماسك جزيئات المعدن أى أن :

الاجهاد المحدث للكسر : $F = f \sin\theta \cos\theta - \tan\phi \, f\cos^2\theta$

ويحدث الكسر عندما تكون (F) ذات قيمة قصوى ، أى عندما تكون :

$$dF / d\theta = \text{zero}$$

$$\text{i. e. : } \cos^2\Theta - \sin^2\theta + 2\tan\phi \cdot \sin\theta\cos\theta = 0$$

$$\tan\phi = -(\cos^2\Theta - \sin^2\Theta) / 2\sin\Theta\cos\Theta$$

$$= -\cos^2\Theta / \sin 2\Theta = -\cot \cdot 2\Theta$$

$$\tan\phi = -\tan(90^\circ - 2\Theta) \qquad = \tan(2\Theta - 90^\circ)$$

$$\therefore \phi = 2\Theta - 90^\circ \qquad \therefore \Theta = 45 + \phi/2$$

أمثلة محلولة

٣ ــ أجرى اختبار الضغط على اسطوانة من الخرسانة قطرها ٢٠ سم وطول قياسها ٢٥ سم وكانت قراءات الحمل والتغير فى الشكل اثناء الاختبار كما يلى :

الحمل (كجم)	صفر	١٨٠٠	٩٤٠٠	٩٠٠٠	١٢٦٠٠	١٤٤٠٠	١٨٠٠٠
الانضغاط ($\frac{١}{١٠٠}$ مم)	صفر	٠,٦٦	٢,٠٥	٤,٠٠	٦,٦٠	٨,٣٠	١٥,٤٠
الحمل (كجم)	٢١٥٠٠	٢٣٤٠٠	٢٥٢٠٠	٢٦٠٠٠	٢٧٠٠٠		
الانضغاط ($\frac{١}{١٠٠}$ مم)	٢٣,٤٠	٢٩,٧٠	٤٠,٠٠	٤٧,٠٠	الانهيار		

والمطلوب تعيين ما يأتى :

(ا) منحنى الاجهاد والانفعال . (ب) المقاومة القصوى للضغط .

(حـ) النسبة المئوية للانضغاط عند الكسر .

(د) معاير القاطع عند اجهاد ٤٥,٥ كجم / سم^{٢} (هـ) معاير المتانة .

الحل :

مساحة المقطع الأصلى للإسطوانة = ط × $\frac{(٢٠)^{٢}}{٤}$ = ٣١٤ سم^{٢}

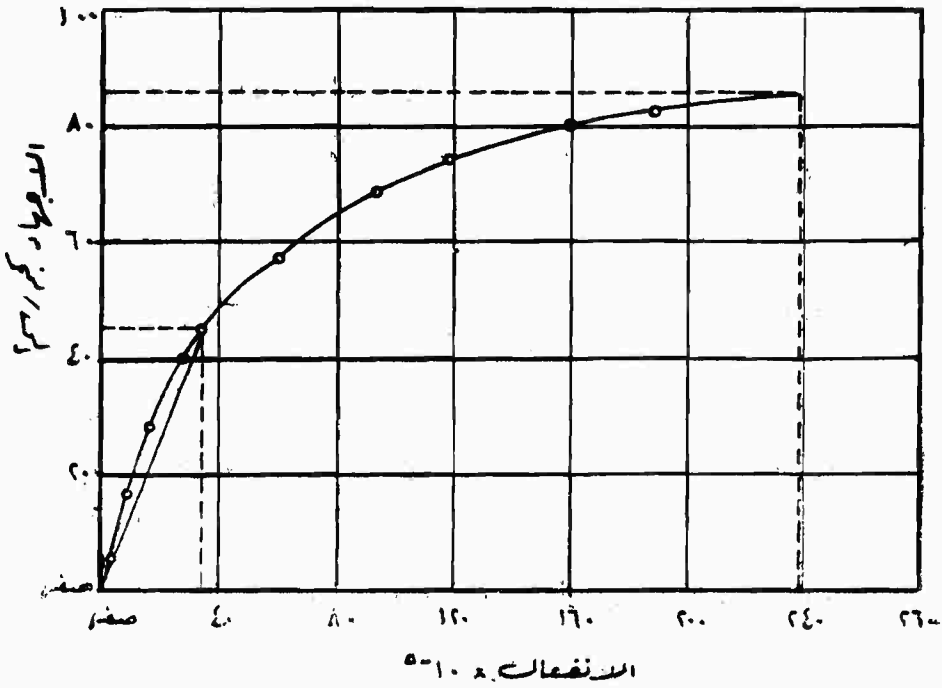
الاجهاد = $\frac{\text{الحمل}}{\text{مساحة المقطع الاصلى}}$ ، الانفعال = $\frac{\text{الانضغاط}}{\text{طول القياس}}$

الاجهاد (كجم / ^{٢})	صفر	٥,٧٢	١٧,٢	٢٨,٦	٤٠,٠٥	٤٥,٨	٥٧,٢
الانفعال × ١٠ — ٥	صفر	٢,٦٤	٨,٢٠	١٦	٢٦,٤	٣٣,٢	٦١,٦
الاجهاد (كجم/سم^{٢})	٦٨,٧٠	٧٤,٥	٨٠,٣٠	٨٢,٨	٨٦		
الانفعال × ١٠ — ٥	٩٣,٦	١١٨,٨	١٦٠,٠	١٨٨,٠	الإنهيار		

(ا) شكل رقم (٥ ــ ١٧) يبين منحنى الإجهاد والانفعال المطلوب، ومنه نجد أن:

(ب) المقاومة القصوى للضغط = ٨٦ كجم / سم^{٢}

النسبة المئوية للانضغاط عند الكسر = $\frac{٢٣٨}{١٠٠٠٠٠}$ × ١٠٠ = ٠,٢٣٨ ٪



شكل رقم (٥ — ١٧) المنحنى البيانى للاجهاد والإنفعال

(ى) معاير القاطع عند إجهاد ٤٥,٥ كجم/سم = $\frac{\text{الإجهاد}}{\text{الانفعال}} = \frac{٤٥,٥ \times ١٠^{-٢}}{٣٣ \times ١٠^{-٥}} =$

= ١٣٨ طن / سم٢

(هـ) معاير المتانة = $\frac{٢}{٣}$ أقصى إجهاد × أقصى انفعال

= $\frac{٢}{٣} \times ٨٦ \times ٢٣٨ \times ١٠^{-٥} =$ ٠,١٣٧ كجم/ سم٢

٢ — لوح تحميل من الحديد الزهر معرض لحمل ضغط قيمته ٨٠ طن . فإذا كانت أقصى مقاومة ضغط الزهر = ٢٨٠٠ كجم / سم٢ ، وقيمة الانفعال عند الكسر له = ٠,١٠ مم / مم ـ أحسب مساحة مقطع لوح التحميل على أساس أن :

(ا) المقاومة القصوى مستعملا عامل أمان = ٨

(ب) المتانة ـ إذا كانت طاقة الانفعال المسموح بها = $\frac{١}{٨}$ معاير المتانة .

الحـــل :

(ا) على أساس المقاومة القصوى :

$$\text{إجهاد التصميم} = \frac{\text{المقاومة القصوى}}{\text{عامل الأمان}} = \frac{٢٨٠٠}{٨} = ٣٥٠ \text{ كجم / سم}^٢$$

$$\text{مساحة مقطع لوح التحميل} = \frac{\text{حمل الضغط}}{\text{إجهاد التصميم}} = \frac{٨٠٠٠٠}{٣٥٠} = ٢٢٨ \text{ سم}^٢$$

(ب) على أساس المتانة .

بفرض أن العلاقة بين الإجهاد والانفعال الحديد الزهر فى الضغط تأخذ شكل قطع مكافىء أى أن : $f^2 = k.e$

حيث f الاجهاد ، e الانفعال و k مقدار ثابت يمكن تعيينة كما يلى :

بالتعويض بقيمة f = ٢٨٠٠ كجم سم٢ ، e = ٠,٠١

$$\therefore (2800)^2 = k \cdot (0.01)$$

$$\therefore k = \frac{(2800)}{0.01} = 7.85 \times 10^8 \ \text{Kg/cm}^2$$

$\therefore$ معادلة الإجهاد والإنفعال هى $f^2 = (7.85 \times 10^8) \cdot e$

وتكون طاقة الإنفعال هى (T) : $T = \frac{2}{3} f.e$

$$\therefore f = \sqrt[3]{(7.85 \times 10^8) \cdot \frac{3}{2} T} \ , \ T = \frac{2}{3} . f . \frac{f^2}{7.84 \times 10^8}$$

أقصى طاقة انفعال = معاير المتانة = $\frac{٢}{٣}$. أقصى إجهاد . أقصى انفعال

$$= \frac{٢}{٣} \times ٢٨٠٠ \times ٠,٠١ = ١٨,٧ \text{ كجم/ سم}^٢$$

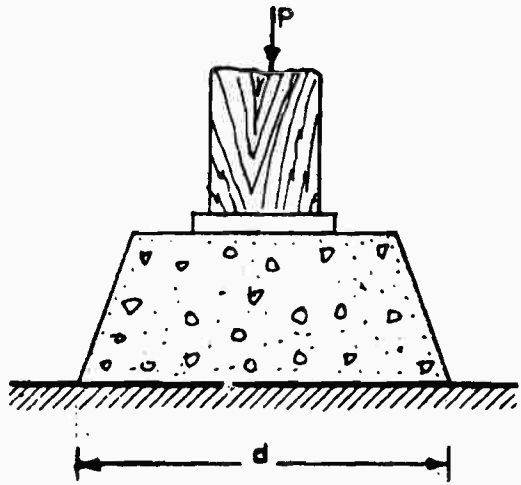
$$\text{طاقة الانفعال المسموح بها} = \frac{\text{معاير المتانة}}{٨} = \frac{١٨,٧}{٨} = ٢,٣٤ \text{ كجم/ سم}^٢$$

$\therefore$ الإجهاد المسموح به f يساوى :

$$f = \sqrt[3]{(7.85 \times 10^8) \times \frac{3}{2} \times 2.34} = 1400 \text{ kg / cm2}$$

∴ مساحة مقطع لوح التحميل = الحمل / الإجهاد المسموح به = ٨٠٠٠٠ / ١٤٠٠ = ٥٧ سم ٢

٣ — عمود من الخشب مقطعه المستعرض مربع طول ضلعه ٢٠ سم يرتكز على وح مربع من الصلب طول ضلعه ٣٠ سم فوق قاعدة خرسانية كما هو مبين فى شكل رقم (٥ — ١٨) . عين الحمل (P) إذا كان إجهاد الضغط المسموح به فى الخشب ١٠٠ كجم / سم٢ وفى الخرسانة ٤٥ كجم / سم ٢ ، ثم احسب البعد (d) عند أسفل القاعدة الخرسانية بحيث لا يزيد إجهاد التحميل على التربة على ٣,٥ كجم / سم ٢ .



شكل رقم (٥ — ١٨)

الحـــل :

مساحة مقطع العمود الخشب = ٢٠ × ٢٠ = ٤٠٠ سم ٢

(P_1) الحمل المسموح التأثير به على الخشب = مساحة المقطع × الإجهاد المسموح به

= ٤٠٠ × ١٠٠ = ٤٠٠٠٠ كجم

مساحة الخرسانة المعرضة لأقصى إجهادات ضغط = ٣٠ × ٣٠ = ٩٠٠ سم ٢

∴ (P_2) الحمل المسموح التأثير به على الخرسانة = ٩٠٠ × ٤٥ = ٤٠٥٠٠ كجم

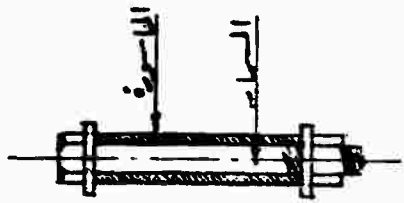
∴ الحمل P هو الحمل P_1 أو P_2 أيهما أصغر ويساوى : P = ٤٠٠٠ كجم

$$\text{مساحة أسفل القاعدة الخرسانية} = \frac{\text{الحمل } (P)}{\text{إجهاد التحميل المسموح به للتربة}}$$

$$= \frac{٤٠٠٠٠}{٥,٣} = ١١٤٠٠ \text{ سم}^٢$$

$$\therefore d = \sqrt{١١٤٠٠} = ١٠٧ \text{ سم}$$

٤ ــ مسمار صامولته من الصلب قطره ٣٢ مم وخطوة قلاووظه ٣,٦ مم ، أدخل فى ماسورة من النحاس الأصفر قطرها الداخلى ٣٢ مم وقطرها الخارجى ٥٠ مم وطولها ٣٨ سم - كما فى شكل رقم (٥ - ١٩). احسب الزاوية التى يمكن ربط الصامولة بها بحيث لا يزيد اجهاد الشد على مادة المسمار عن ١٠٠٠ كجم / سم ٢ ، احسب كذلك الاجهاد فى الماسورة النحاس ، إذا علم أن معاير المرونة للصلب ٢ × ١٠ ٦ كجم/سم ٢ ومعاير المرونة للنحاس ١ × ١٠ ٦ كجم / سم ٢ .



شكل رقم (٥ — ١٩)

الحل :

يلاحظ أن الزيادة فى طول المسمار + النقص فى طول الماسورة

= المسافة التى تنقلها الصامولة على المسمار

$$\text{مساحة مقطع المسمار} = \frac{ط \times (٣,٢)^٢}{٤} = ٨ \text{ سم}^٢$$

$$\text{مساحة مقطع الماسورة} = \frac{ط}{٤}(٥^٢ - ٣,٢^٢) = ١٢ \text{ سم}^٢$$

الحمل المؤثر على المسمار = الحمل المؤثر على الماسورة = (P)

الحل (P) = مساحة مقطع المسمار × الاجهاد بالمسمار

= ٨ × ١٠٠٠ = ٨٠٠٠ كجم

الاجهاد فى الماسورة = الحل (P) / مساحة مقطع الماسورة = ٨٠٠٠ / ١٢ = ٦٦٧ كجم / سم٢

الزيادة فى طول المسمار = الاجهاد فى المسمار / معاير مرونة الصلب × طول المسمار =

الزيادة فى طول المسمار = ١٠٠ / ٢ × ١٠٦ × ٣٨ = ٠,٠١٩ سم

النقص فى طول الماسورة = الاجهاد فى الماسورة / معاير مرونة النحاس × طول المسمار

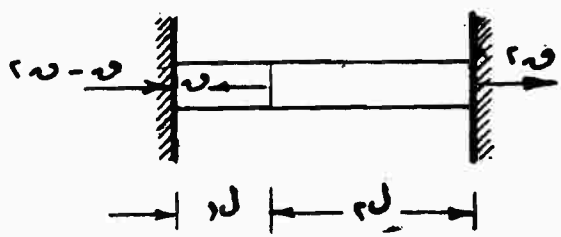
= ٦٦٧ / ١ × ١٠٦ × ٣٨ = ٠,٠٢٥ سم

∴ المسافة التى تنتقلها الصامولة = ٠,٠١٩ + ٠,٠٢٥ = ٠,٠٤٤ سم = ٠,٤٤ مم

أى أن الزاوية التى ترتبط بها الصامولة = المسافة التى تنتقلها الصامولة / خطوة القلاووظ × ١٨٠°

= ٠٫٤٤ / ٣,٦ × ١٨٠° = ٢٢°

٥ — القضيب المبين بشكل رقم (٥ — ٢٠) ذو مقطع مستعرض منتظم ومثبت تماما بين حائطين ، فإذا أثر حمل محورى ق على القضيب على بعد ل من النهاية اليسرى القضيب أحسب ردود الأفعال عند نهايتى القضيب .



شكل رقم (٥ — ٢٠)

الحل :

نفرض أن رد الفعل عند النهاية اليمنى من القضيب = $ق_2$

فيكون رد الفعل عند النهاية اليسرى من القضيب $ق_1 = ق - ق_2$

ويكون الجزء الأيمن بطول $ل_2$ معرضاً لقوة شد مقدارها $ق_2$

بينما الجزء الأيسر بطول $ل_1$ يتعرض لقوة شد مقدارها $(ق - ق_2)$

ويلاحظ أن الاستطالة فى الجزء الأيمن = النقص فى طول الجزء الأيسر

$$\text{الاستطالة فى الجزء الأيمن} = \frac{\text{الإجهاد فى الجزء الأيمن}}{\text{معاير مرونة القضيب}} \times \text{طول الجزء الأيمن}$$

$$= \frac{ق_2}{E \cdot م} \times ل_2$$

كذلك فإن النقص فى طول الجزء الأيسر $= \frac{ق - ق_2}{E \ م} \times ل_1$

حيث م هى مساحة المقطع المستعرض للقضيب ، E هى معاير المرونة للقضيب

$$\therefore \frac{ق_2}{E \cdot م} \times ل_2 = \frac{ق - ق_2}{E \cdot م} \times ل_1$$

$$ق_2 ل_2 = ق ل_1 - ق_2 ل_1$$

$$\therefore ق_2 = ق \cdot \frac{ل_1}{ل_1 + ل_2}$$

ويكون رد الفعل عند الطرف الأيسر $ق_1 = ق_2 - ق \left[1 - \frac{ل_1}{ل_1 + ل_2} \right]$

$$= ق \cdot \frac{ل_2}{ل_1 + ل_2}$$

مسائل

١ ــ أجرى اختبار الضغط على عينة أسطوانية من الحديد الزهر مساحة مقطعها ١٠ سم٢ وطول القياس ٢٠٠ مم . فإذا كانت النتائج بين الحمل والانضغاط كما سجلت أثناء الاختبار كما يلى :

الحمل : كجم	صفر	٢٧٠٠	٦٧٥٠	١٠١٠٠	١٣٥٠٠	٢٠٢٥٠	٢٧٠٠٠
الانضغاط: مم	صفر	٠,٠٥٥	٠,١٣٨	٠,٢٠٥	٠,٢٧٥	٠,٤٥٠	٠,٧٠٠

ارسم منحنى الاجهاد العادى والإنفعال العادى لعينة الحديد الزهر المختبر فى الضغط ثم عين :

(ا) إجهاد الكسر .

(ب) معاير التماس الابتدائى .

(حـ) معاير التماس ومعاير القاطع عند إجهاد ضغط ٢٤٠٠ كجم / سم٢ .

(ى) معاير المتانة فى الضغط .

٢ ــ عمود أجوف مصنوع من الحديد الزهر يتعرض لحمل ضغط محورى قيمته ٣٧ طن . عين قطر العمود الداخلى إذا كان قطره الخارجى ١٥ سم بحيث لا يزيد إجهاد الضغط فى العمود عن ٥٠٠ كجم / سم٢ .

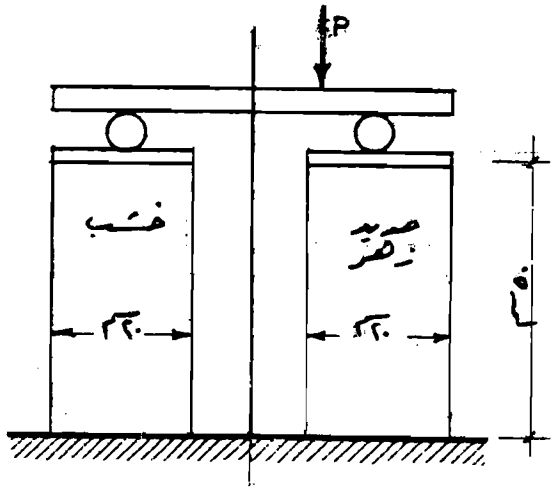
٣ ــ كتلتان ١٠ × ٢٠ × ٥٠ سم معرضتان لحمل ضغط عن طريق لوح كما هو مبين بالشكل رقم (٥ ــ ٢١) فإذا كانت الكتلة الأولى مصنوعة من الحديد الزهر الرمادى والأخرى من الخشب . عين قيمة الحمل (P) عندما يكون الإجهاد فى الحديد الزهر ١٦ كجم / مم٢ . مع افتراض أن الحمل يحدث نفس النقص فى الطول فى كلا الكتلتين . عين أيضا المسافة بين الحمل (P) ومحور الكتلتين .

معاير المرونة للحديد الزهر فى الضغط ١٠٠٠ طن / سم٢ .

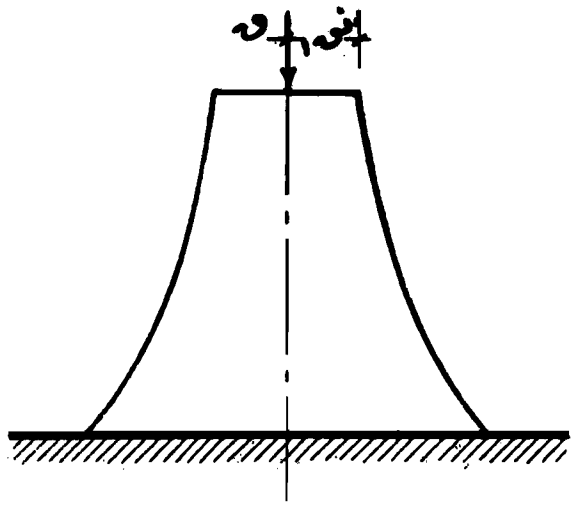
معاير المرونة للخشب ١٤٠ طن / سم٢ .

٤ ــ جسم دورانى الشكل محمل بحمل قيمته ق كما هو مبين فى الشكل رقم (٥ ــ ٢٢). فإذا كان نصف قطر القاعدة العليا = نق والوزن النوعى لمادة الجسم = ك جم/سم٣

فبين كيف يتغير القطر مع الارتفاع بحيث تتساوى إجهادات الضغط عند أى مقطع أفقى فى الجسم مع عدم إهمال وزن الجسم نفسه .



شكل رقم (٥ — ٢١)



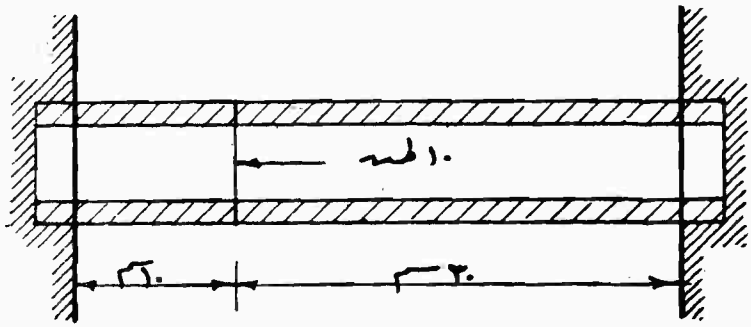
شكل رقم (٥ — ٢٢)

٥ — عمود صلب قطره ٥ سم أدخل فى ماسورة برونز قطرها الداخلى ٥ سم وقطرها الخارجى ٦,١ سم بحيث يكونان جسما واحدا والمجموعة مثبتة تماما بين حاجزين

جاسئين المسافة بينهما ٤٠ سم كما هو في شكل رقم (٥ — ٢٣) . فإذا أثر حمل محورى قدره ١٠ طن على القضيب المركب على بعد ١٠سم من الحاجز الأيسر ، احسب قيمة رد الفعل عند كل من الحاجزين وكذلك الحمل المؤثر على كل من العمود الصلب والماسورة البرونز على يمين وعلى يسار الحمل المؤثر .

معاير المرونة للصلب = ٢١٠٠ طن / سم٢

ومعاير المرونة للبرونز = ٨٤٠ طن / سم٢



شكل رقم (٥ — ٢٣)

تمرين رقم (١٠)

اختبار الضغط للمعادن

١ المجال :

يهدف هذا الاختبار إلى دراسة سلوك المعادن المختلفة (الصلب الطرى والنحاس الأصفر والحديد الزهر) التى تمثل حالات المعادن المطيلة ونصف المطيلة والقصفة وذلك نتيجة تعرضها لتأثير حمل الضغط .

٢ — عينات الاختبار :

يجرى الاختبار على ثلاث قطع اسطوانية الشكل بقطر ٢٢مم وارتفاع ٥١ مم القطعة الأولى من الصلب الطرى والثانية من النحاس الأصفر والثالثة من الحديد الزهر .

٣ — ادوات الاختبار :

يحتاج إجراء الاختبار إلى مكنة اختبار الضغط ذات سعة لاتقل عن ١٠٠ طن — كتلتى تحميل (Bearing Blocks) — مقياس ورنية .

٤ — خطوات اجراء الاختبار :

(ا) يقاس قطر وارتفاع قطعة اختبار الصلب الطرى باستخدام مقياس الورنية.

(ب) توضع قطعة الاختبار بين كتلتى التحميل فى مكنة اختبار الضغط مع مراعاة أن ينطبق محور العينة مع محور مكنة الاختبار. ثم تضبط مكنة الاختبار لرسم العلاقة بين الحمل والانضغاط تلقائيا .

(حـ) تحمل قطعة الاختبار تدريجيا بسرعة لاتزيد على ١,٢٥ مم / دقيقة ويسجل أثناء التحميل حمل الخضوع (إن وجد) ثم حمل الكسر (إن وجد — ففى حالة الصلب الطرى لا يحدث كسر لذلك يكتفى بتحميل قطعة الاختبار حتى حمل مقداره ١٠٠ طن) .

(د) ترفع قطعة الاختبار من مكنة اختبار الضغط ويقاس كل من ارتفاعها وأكبر قطر بها .

(هـ) تكرر نفس الخطوات السابقة لقطعتى اختبار النحاس الاصفر والحديد الزهر

٥ – نتائج الاختبار :

– يحسب إجهاد الخضوع = حمل الخضوع / مساحة المقطع الأصلى

كما تحسب مقاومة الضغط = حمل الكسر / مساحة المقطع الأصلى

(ب) تسجل النتائج الخاصة بالصلب الطرى والنحاس الأصفر والحديد الزهر فى جدول واحد كما يلى :

نوع المعدن	القطر (مم)		(الارتفاع مم)		حمل الخضوع كجم	اجهاد الخضوع كجم/ سم٢	حمل الكسر كجم	مقاومة الضغط كجم/ سم٢	زاوية ميل مستوى الكسر على الأفقى
	الاصلى	بعد الكسر	الاصلى	بعد الكسر					
صلب طرى									
نحاس أصفر									
حديد زهر									

حـ – من الجدول السابق والرسم التلقائى لمنحنى الحمل والانضغاط للمعادن الثلاثة يمكن المقارنة بين سلوك كل منها تحت تأثير حمل الضغط الاستاتيكى .

٦ – مثال تطبيقى :

امكن من اختبار الضغط على قطع اختبار اسطوانية من الصلب الطرى والنحاس الأصفر والحديد الزهر الحصول على النتائج المبينة فى الجدول التالى :

نوع المعدن	القطر (مم)		الارتفاع (مم)		حمل الخضوع كجم	إجهاد الخضوع كجم/سم٢	حمل الكسر كجم	مقاومة الضغط كجم/سم٢	زاوية ميل مستوى الكسر على الأفقى
	قبل	بعد الكسر	قبل	بعد كسر					
صلب طرى	٣٢	٤٧	٥١	٢٠	١٨٠٠٠	٢٢٤٠	—	—	لا يحدث كسر حتى حمل ١٠٠ طن
[illegible]	٣٢	٤٤	٥١	٤٢	—	—	٨٥٥٠٠	١٠٦٠٠	حوالى ٥٠ درجة
[illegible]	٣٢	٣٨	٥١	٤٧	—	—	٦٩٠٠٠	٨٦٠٠	حوالى ٦٠ درجة

والمطلوب ما يلى :

(ا) المقارنة بين سلوك هذه المعادن تحت تأثير حمل الضغط الاستاتيكى .

(ب) المقارنة بين هذه المعادن من حيث مدى مقاومتها للضغط وقابليتها للانضغاط

(ا) يتضح من المنحنى التلقائى للحمل والانضغاط لهذه المعادن ما يلى :

١ — بالنسبة للصلب الطرى : يتناسب الحمل والانضغاط تناسباً خطياً من بداية التحميل حتى يحدث الخضوع . وباستمرار التحميل تستمر قطعة الاختبار فى الانضغاط بمعدل أكبر منه قبل الخضوع وتفلطح قطعة الاختبار وتستمر فى ذلك ولا يحدث لها كسر مهما زاد الحمل .

٢ — بالنسبة للنحاس الأصفر : يتناسب الحمل والانضغاط تناسباً خطياً فى البداية ثم تتحول العلاقة بين الحمل والانضغاط إلى منحنى وتستمر كذلك حتى يحدث الكسر على مستوى يميل بزاوية حوالى ٥٠° على الأفقى .

٢ — بالنسبة للحديد الزهر : تكون العلاقة بين الحمل والانضغاط بشكل منحنى من البداية حتى يحدث الكسر على مستوى يميل بزاوية مقدارها حوالى ٦٠° على الأفقى .

(ب) — يتضح من الجدول السابق أن الصلب الطرى أكثر هذه المعادن مقاومة للضغط يليه النحاس الأصفر ثم الحديد الزهر .

٢ — كما يتضح أيضاً أن الصلب الطرى أكثرها قابلية للانضغاط فله أقصى زيادة فى القطر وأقصى نقص فى الارتفاع بينما الحديد الزهر أقلها قابلية للانضغاط حيث له أدنى زيادة فى القطر وأدنى نقص فى الارتفاع .

٧ — المناقشة :

١ — هل يمكن اعتبار اختبار الضغط للمعادن اختبار قبول لها فى الأعمال الهندسية ؟

٢ — لماذا يعتبر اختبار الضغط اختبارا قياسيا ضروريا لقبول المواد غير المعدنية ؟

٣ — لماذا يجرى أحيانا اختبار الضغط للمواد المعدنية ؟

٤ — ارسم المنحنى البيانى للحمل والانضغاط لكل من عينة الصلب الطرى والنحاس

الأصفر والحديد الزهر تحت تأثير حمل الضغط والموقع تلقائيا بمكنة الاختبار .

٥ ــ عين باستخدام نتائج الاختبارات ــ كل من اجهاد الخضوع فى الضغط واجهاد مقاومة الضغط وذلك لكل من العينات المعدنية المختبرة .

٦ ــ ارسم تخطيطيا شكل مكسر العينات المختبرة ثم اشرح سبب ذلك الكسر . .

٧ ــ اثبت لماذا تنكسر عينات اختبار الضغط للمعادن القابلة للقصف بواسطة القص على مستوى يصنع زاوية θ مع الأفق بحيث $\theta = ٤٥^\circ + \frac{\phi}{٢}$ حيث ϕ هى زاوية احتكاك المعدن المختبر .

٨ ــ لماذا يصير شكل عينة اختبار الضغط المستديرة المقطع بشكل برميل تحت تأثير حمل الضغط ؟ وهل يمكن منع تكون ذلك الشكل ؟ وضح كيف يمكن ذلك .

٩ ــ اشرح لماذا يجب أن تكون عينة اختبار المعادن فى الضغط ذات مقطع مستعرض مستدير ؟

١٠ ــ ما هى الاشتراطات الواجب توافرها فى عينات اختبار المعادن فى الضغط ؟ اشرح لماذا ؟

١١ ــ ارسم تخطيطيا عينات اختبار الضغط المستخدمة لاختبارات المعادن . بين متى يمكن استخدام كل من هذه العينات ؟

١٢ ــ ما هى الاحتياطات الواجب اتخاذها عند إجراء اختبار الضغط للمعادن ؟ اشرح السبب فى كل حالة .

١٣ ــ ارسم تخطيطيا شكل عينه اختبار الحديد المطاوع بعد انهيارها نتيجة لتأثير حمل الضغط . ثم اشرح سبب حدوث الانهيار بهذا الشكل .