

## الباب الخامس

سلوك المواد الهندسية تحت تأثير

### الضغط الاستاتيكي

( STATIC COMPRESSION )

مقدمة :

اولا - سلوك المواد المعدنية تحت تأثير حمل الضغط الاستاتيكي :

- ا - المنحنى البياني للحمل والتشكل
- ب - المنحنى البياني للإجهاد والإتعمال
- ج - المواد المطيئة
- د - المواد القصفة

ثانياً اختبار الضغط :

- ا - عينات اختبار الضغط
- ب - المخدات وكتل التحميل
- ج - طريقة إجراء الاختبار
- د - طرق تجنب تأثير الاحتكاك بين سطحى عينة الاختبار ورأس مكينة الاختبار
- هـ - ملاحظات الاختبار

ثالثاً - انهيار عينات الامون تحت تأثير حمل الضغط :

- ا - المواد المطيئة
- ب - المواد القصفة

## مقدمة :

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

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

وقد تجرى إختبارات الضغط للمواد المعدنية وغير المعدنية بغرض بيان خواصها  
الميكانيكية في الضغط فمثلا في المواد المطيلة يمكن تعيين إجهاد الخضوع والرجوعية  
المررة كذلك معايير المرونة ، أما المواد القصفة فيعين فقط المقاومة للضغط .

وتوجد عوامل تجعل إختبار الضغط غير صالح لإعطاء نتائج دقيقة من  
استخدامه كإختبار قبول للمواد أو كإختبار معمل يعتمد على نتائجه في بيان خواص  
المواد بكفاية ومن هذه العوامل ما يأتي :

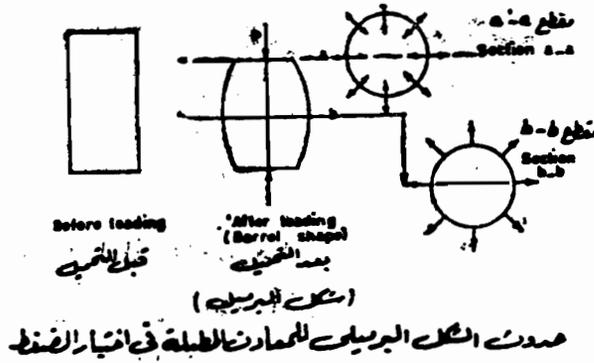
- ١ - صعوبة التأثير بحمل الضغط تأثيراً محورياً حقيقياً على العينة المختبرة .
- ٢ - حالة عدم الإيزان ( Unstable ) النسبية للتحميل بالضغط بالمقارنة  
بالتحميل بالشد .
- ٣ - الإحتكاك ( Friction ) بين رأسى مكنة الإختبار وبين نهايتى العينة  
المختبرة وهذا الإحتكاك يغير تغييراً ملحوظاً نتائج الإختبار عن مثيلاتها  
لوأجرى إختبار الضغط بدون تواجد الإحتكاك .

٤ - الكبر النسبي للمقطع المستعرض لعينة الضغط المستخدمة للحصول على درجة مناسبة من الاتزان للعينة أثناء التحميل . ويتسبب ذلك في ضرورة تواجدهمكثبات اختيار ذات سعة عالية نسبياً أو يتسبب في استخدام عينات اختبار صغيرة بدرجة تجعل من الصعوبة الحصول على الدقة المناسبة لنتائج الاختيار .

أولاً - سلوك المواد لانهية تحت تأثير حمل الضغط الاستاتيكي

١ - النعنى البياني للعمل والتشكل :

إذا تعرضت عينة معدنية أسطوانية الشكل يارتفاع قصير نسبياً إلى حمل ضغط فإنها تنضغط ويتسبب عن ذلك أن يحدث للعينة شكل برميل (Barrel) نتيجة الزيادة في العرض المصاحبة للتقص في الطول وتواجد الاحتكاك بين سطح نهايتي العينة ورأس مكث الاختبار مما يسبب قلة الزيادة في العرض عند مقاطع نهايتي العينة عنها في مقاطع منتصف العينة بقم تدريجية تبعاً لمدى تأثير الاحتكاك كما يبين من الشكل رقم (٥ - ١) .



شكل رقم (٥ - ١)

ويعتبر الإجهاد الحادث من التحميل في حدود المرونة منتظماً في توزيعه على مقطع العينة ويساوى حمل الضغط الموتر مقسوماً على المساحة الأصلية للمقطع المستعرض أي:  $f = p/A$  فإذا كانت العينة من معدن قاطيل مثل الصلب الطرى فإن

الاستمرار في التحميل بالضغط يزيد من انضغاطها ثم تفلطح ( Flatten ) وتستمر في ذلك ولا يحدث لها كسر مهما إزداد التحميل . ويكون المنحنى البياني 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 إزداد التحميل ثم تنكسر على مستوى يعمل زاوية حوالى ٥٠ درجة مع الأفق . ويكون المنحنى البياني 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 للحمل الأقصى مقسوماً على المساحة الأصلية للقطع المستعرض أى أن :  $f_{max} = P_{max} / A_0$

أما إذا كانت العينة من معدن قصيف مثل الحديد الزهر ( Cast Iron ) فإنها تنضغط قليلاً جداً ثم تنكسر على مستوى يعمل زاوية حوالى ٥٥ - ٦٠ مع الأفق ويكون المنحنى البياني للحمل والانضغاط كما يتبين من الشكل رقم ( ٥ - ٢ ) حيث يلاحظ عدم تواجد منطقة خضوع وتواجد حد للمقاومة القصوى للضغط ويعتبر الإجهاد الأقصى للضغط مساوياً للحمل الأقصى مقسوماً على المساحة الأصلية للقطع المستعرض أى :  $f_{max} = P_{max} / A_0$  .

#### المنحنى البياني للإجهاد والانفعال في الضغط .

يمكن رسم المنحنى البياني للإجهاد العادى والانفعال العادى في الضغط باستخدام المنحنى البياني للحمل والتشكل واختيار أن :

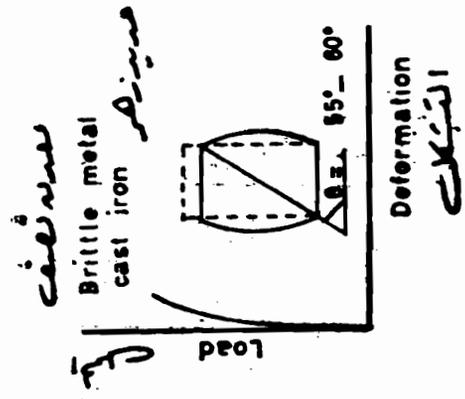
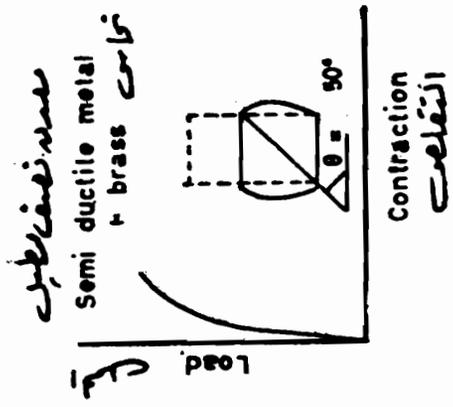
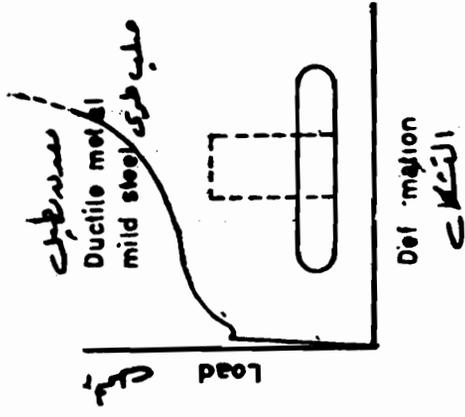
$$f = P / A_0 = \text{الإجهاد العادى في الضغط}$$

$$e = \Delta L / L_0 = \text{الانفعال العادى في الضغط}$$

$$\text{حيث : } p = \text{الحمل المؤثر .}$$

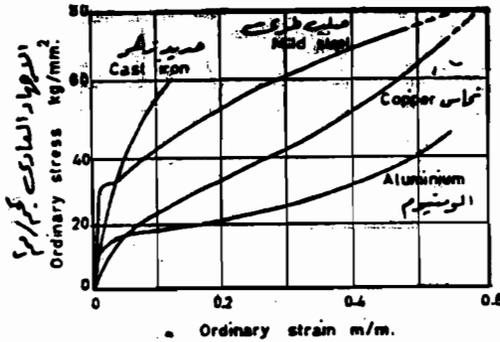
$$A_0 = \text{المساحة الأصلية للقطع المستعرض ،}$$

$$\Delta L = \text{التشكل ، } L_0 = \text{الطول الأصلى للعينة .}$$



شكل رقم ( ٥ - ٢ ) سلوك المادن الطيبة وصف الطيبة والصفة في اختبار الضغط

ويعين الشكل رقم (٥ - ٣) المنحنيات البيانية للإجهاد العادى والإنفعال العادى لبعض المعادن .



الانفعال العادى م/م

المنحنيات البيانية للإجهاد العادى والانفعال العادى لبعض المعادن في افتسار الضغط

شكل رقم (٥ - ٣)

كما يمكن رسم المنحنى البياني للإجهاد الحقيقي والإنفعال الحقيقي في الضغط على أساس أن :

$$\epsilon = P / A \quad : \text{الإجهاد الحقيقي في الضغط}$$

$$e = \log_e A / A_0 \quad : \text{الإنفعال الحقيقي في الضغط}$$

حيث  $P$  = الحمل المؤثر .

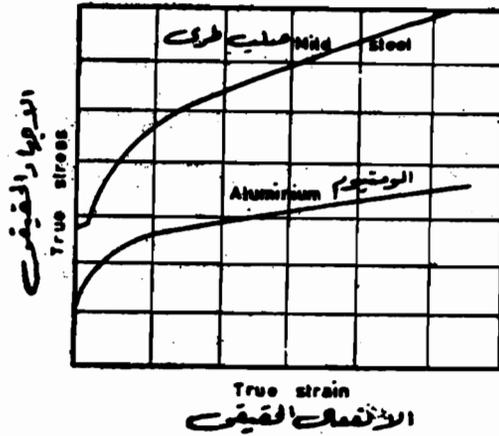
$A_0$  = المساحة الأصلية للقطع المستعرض .

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

ويعين الشكل رقم (٥ - ٤) المنحنيات البيانية للإجهاد والإنفعال الحقيقي لبعض المعادن .

► - المواد اللطيفة : ( Ductile Materials )

عند اختيار المواد اللطيفة مثل الصلب الطرى في الضغط ، وجد أن التشكل يتناسب



منحنيات الإجهاد الحقيقي والانفعال الحقيقي لبعض  
المعادن في اختبار الضغط  
شكل رقم ( ٥ - ٤ )

مع الإجهاد كما في اختبار الشد ، أى أن الصلب يخضع لقانون هوك ، ويلاحظ تساوى قيمة حد التناسب في الشد والضغط وأيضاً تطابق قيمة إجهاد الخضوع في 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 .



انهارات الأنضاط النموذجية ( المطابقة )

شكل رقم ( ٥ - ٥ )

ويحدد معايير المرونة في اختبار الضغط بحساب ميل الخط لمنحنى الإجهاد والانفعال في منطقة المرونة كما في اختبار الشد. وينطبق هذا على جميع الأنواع المطيلة من الصلب .

ويمكن الحصول على بعض الخواص الهامة للواد المطيلة من اختبار الضغط مثل حد التناسب، إجهاد الخضوع، ومعايير المرونة باستخدام المنحنى البياني للإجهاد والانفعال .  
والجدول التالي رقم ( ٥ - ١ ) يبين بعض النتائج لإختبارات بعض أنواع الصلب في اختبارى الشد والضغط .

جدول رقم ( ٥ - ١ ) نتائج خواص الصلب في الشد والضغط

الضغط			الشد				نوع الصلب
معايير المرونة كجم / سم <sup>٢</sup>	إجهاد الخضوع كجم/سم <sup>٢</sup>	حد التناسب كجم /سم <sup>٢</sup>	معايير المرونة كجم/سم <sup>٢</sup>	مقاومة الشد كجم/سم <sup>٢</sup>	إجهاد الخضوع كجم/سم <sup>٢</sup>	حد التناسب كجم /سم <sup>٢</sup>	
٦١٠ × ٢,١	٤٩٧٠	٤٩٦٠	٦١٠ × ٢,١	٦٧٩٠	٤٦٩٠	٤٤١٠	كربون ١٠٣٥
٦١٠ × ٢,١	٥٩٥٠	٥٤٦٠	٦١٠ × ٢,١	٨٤٠٠	٥٦٠٠	٥٢٥٠	كربون ١٠٤٦
٦١٠ × ٢,١	٨٨٩٠	٧٦٣٠	٦١٠ × ٢,١	٩٤٠٠	٨٦١٠	٧٨٤٠	سليكة ٤٠٣٤

وإذا كانت المادة لينة مثل النحاس أو الألومنيوم، يلاحظ زيادة كبيرة في مساحة مقطع عينة الإختبار وتشبه الشكل المبين في الشكل رقم ( ٥ - ٥ ) ، ويفضل اختيار عينات اسطوانية الشكل في اختبار الضغط بحيث لا تزيد نسبة الطول إلى العرض عن ٤ : ١ في حالة استعمال مقاييس الاتفعال المنوية ويمكن أن تقل هذه النسبة عن ٢ : ١ في حالة عدم قياس التشكل وتعيين المقاومة التقسوى للضغط فقط .

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

#### د - المواد القصفة : Brittle Materials

في المواد القصفة مثل الحديد الزهر ، يمكن استعمال مقياس الإسطالة ذو حساسية

لقياس التشكل وذلك للقيم الصغيرة من الاجهاد لا يناسب مع الانفعال أى  
أن المادة لا تخضع لقانون هوك ، وقد اقترح ، باخ ، ( Bach ) العلاقة الآتية :

$$e E = s^n \quad \dots \dots \dots (1)$$

حيث :

$E =$  Modulus of elasticity ( lb / in<sup>2</sup> )

$e =$  Strain

$S =$  Stress ( lb / in<sup>2</sup> )

$n =$  Constant

ويمكن إستعمال هذه العلاقة في اختبار المواد مثل الحديد الزهر والأحجار والخرسانة  
ويلاحظ أن هذا القانون غير صحيح عندما يكون الاجهاد يساوى صفر .  
ومن المعادلة رقم (١) :

$$s = (eE)^{1/n}$$

$$\frac{ds}{dn} = \frac{1}{n} [E \frac{1}{n} \cdot e (\frac{1}{n} - 1)] \quad \dots \dots \dots (2)$$

ولتحقيق هذه العلاقة :

عندما  $n > 1$  والاجهاد 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 في الشكل رقم (٥ - ٦)  
وقد وجد أن الحديد الزهر يخضع لقانون هوك وذلك عند القيم الصغيرة للإجهادات  
وقد اقترحت العلاقة الآتية بين الاجهاد والانفعال :

$$e = (s + b_1 s^2 + b_2 s^3 + \dots) \dots (3)$$

ومنها يمكن إستنتاج العلاقة التالية التي تتفق مع قانون هوك وذلك عندما تقل قيمة

$$e = \frac{s}{E} \quad \text{الاجهاد :}$$

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



شكل رقم (٥ - ٦) منحنى الاجهاد والاتصال في اختبار الضغط

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

ويلاحظ إننيار الحديد الزهر بالكسر عند زيادة الحمل ونظراً لأن مقاومة الشد للحديد الزهر أقل من مقاومته في القص ، فتكون زاوية ميل مستوى الإننيار عن محور الاجهاد بسبب قوى القص على المستوى المائل ، كما هو مبين بشكل رقم (٥ - ٥) ويجدير بالذكر أن جميع المواد القصفة في إختبار الضغط تشابه في شكل الإننيار .

أما في مكعبات الحجر والامنت فإنها تنهار بتأثير قص مزدوج كما في شكل رقم (٥ - ٥) ويتحدد شكل إننيار الأخشاب حسب نوعها ويتضح هذا من شكل رقم (٥ - ٥) ، وفي جميع الحالات فإن لابعاد قطعة الاختبار تأثير كبير على شكل الإننيار ، وفي العادة تكون قطعة إختبار الحديد الزهر ذات شكل إسطواني (ل = ٢ ق) ، أما عينات الخرسانة والأحجار فإنها تكون مكعبة الشكل ، وقد أوضع د جهر ، (Gehler) أنه في 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 . وفي المواد القصفة يكنى معرفة خواص

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

### ثانياً - إختبار الضغط

#### عينات إختيار الضغط :

تفضل عينة الإختبار الإسطوانية عن الأشكال الأخرى لأنها تعطى إجهادات منتظمة وكثيراً ما تختبر عينات مربعة أو مستطيلة المقطع ، فثلاً في 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 لإحتمال 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 للأطول أقل من ١٠، ٥ مرة قطر العينة حيث المستويات القطرية التي يحدث عليها الإنهيار تقطع القاعدة مما ينتج عنه زيادة في المقاومة الظاهرية .

والنسبة شائعة الاستعمال بين الطول والقطر هي ٢ أو أكثر وتختلف هذه النسبة باختلاف المواد . وإذ كان الغرض من الإختبار دراسة الانفعال في عينة إختيار معينة فإنه يفضل أن تكون هذه العينة طويلة .

وتعتمد أبعاد عينة الإختبار على نوع المادة والقياسات المطلوبة وأجهزة الإختبار المستخدمة . فثلاً للمواد المتجانسة حيث أن المقاومة القصوى أهم عنصر فيمكن إختيار عينة قصيرة ، أما المواد غير المتجانسة مثل الخرسانة فإن مقاس العينة يتوقف على المقاس الاعبارى 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 تستوفي عينات إختبار الضغط للمعادن الاشتراطات الآتية :

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

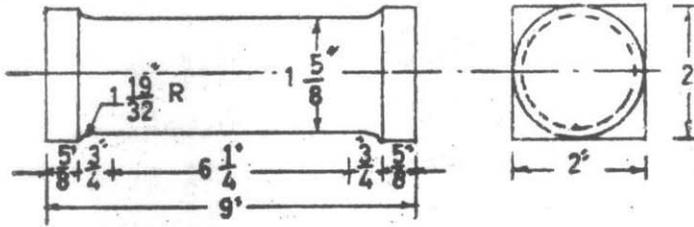
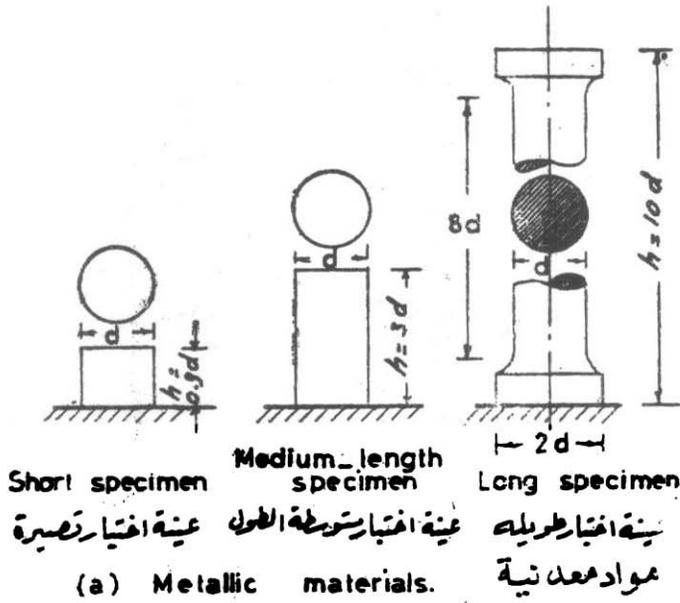
٢ - أن تكون العينات ذات ارتفاع لا يتجاوز ١٠ مرات قطر المقطع (أى أقل بعد في المقطع المستعرض حتى لا يحدث انبعاج (Buckling) الذى يسبب تواجد عزوم انحناء على العينة بجانب حمل الضغط .

٣ - أن تكون سطحا نهايتى العينة مستويين ومتوازيين وعموديين على محور العينة وذلك حتى يكون التحميل محورياً .

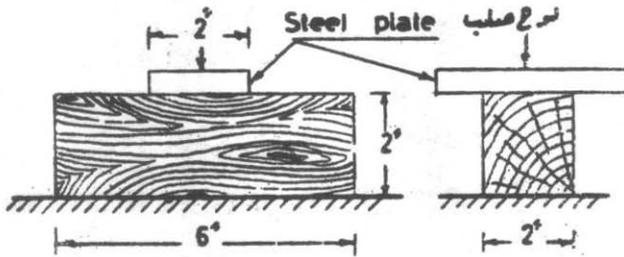
### عينات الاختبار القياسية :

والعينات القياسية لاختبار الضغط للمعادن ثلاثة أنواع هى العينة للطويلة 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 - ٧) .

وتستخدم العينة الطويلة عند إجراء إختبار الضغط بغرض رسم المنحنى البياني 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 مشابهاً لحالة تشغيل معادن المحامل . ويبين الجدول رقم (٥ - ٢) بعض الأبعاد المقترحة لعينات إختبار الضغط للمعادن ،



(b) Wood parallel to grain.      خشب مواز 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

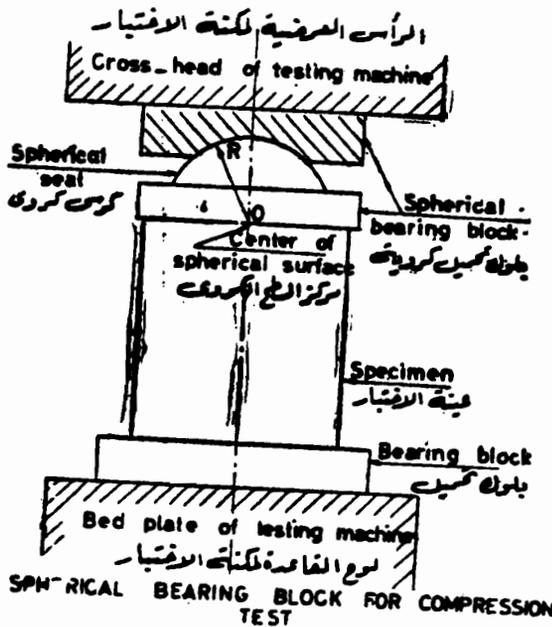
الارتفاع (ل)		قطر (ق)		النوع
م	بوصة	م	بوصة	
٢٥	١	٢٨	$1\frac{1}{8}$	قصيرة
٣٧	$1\frac{1}{4}$	١٢,٥	$\frac{1}{2}$	متوسطة
٦٠	$2\frac{3}{8}$	٢٠	٠,٧٩٨	
٧٥	٣	٢٥	١	
٨٥	$2\frac{3}{4}$	٢٨	$1\frac{1}{8}$	
١٦٠	$6\frac{3}{8}$	٢٠	٠,٧٩٨	طويلة
٣١٢	$12\frac{1}{4}$	٣١	$1\frac{1}{4}$	

وتختبر العينات القصيرة باستعمال قطعة إرتكاز الاختبارات العادية وتختبر العينات متوسطة الطول والعيّنات الطويلة لتعيين معايير المرونة، وعند إختبار عينات من شرائط المعادن في الضغط فيجب تحميل عينة الإختبار بطريقة تمنع الانبعاج الجانبي بدون تدّاخل مع الاتعمال المحوري للعينة . والعينة القياسية للخرسانة تكون إسطوانة طولها ضعف قطرها ، وللركام الذي مقاسه الإعتبارى ٥٠ سم تكون الاسطوانة ١٥ × ٣٠ سم وإذا كان المقاس الإعتبارى لغاية ٧٥ سم تكون الاسطوانة ٢٠ × ٤٠ سم، وللمقاس الإعتبارى ٢٠ سم لإسطوانة ٧,٥ × ١٥ سم ، وفي الخرسانة الكتلية التي مقاسها الإعتبارى حتى ١٥ سم تكون الاسطوانة ٤٥ × ٩٠ سم .

أما في الجلترا وأوربا فعينة إختبار الخرسانة مكعبة ١٥ × ١٥ × ١٥ سم ، وللوقية أسطوانة ١٠ × ٥ سم ، وللخشب مكعب ٥ × ٥ × ٥ سم إذا كان الحبل موازى لترتيب الألياف ، ١٥ × ٥ × ٥ سم إذا كان الحبل عمودى على ترتيب الألياف . كما في الشكل رقم (٥ - ٧) ، أما في الطوب فيمكن إختباره على نصف طوية بحيث تكون أسطحها مستوية ومتوازية .

## ب - المفردات وكثل التحميل:

يجب أن يكون سطحها التحميل مستويين وعموديين على محور العينة حتى لا يسبب تركيز للاجهادات أو إنحناء للعينة ولذلك تقع عينة المعادن بحيث تكون أسطحها أفقية وعمودية على المحور . وتنشر عينات الخشب بحيث تتوافر هذه الشروط . أما في الخرسانة والطوب والاحجار فلا بد من عمل غطاء أو مخرطة للعينة من الجبس أو الاسمنت سريع التصلد ، وعند وضع ألواح الإرتكاز يجب التأكد من أنها عمودية على المحور ولا بد من تساوى المقاومة ومعايير المرونة لكل من لوح الإرتكاز والمادة المختبرة ما أمكن . وأن يكون الغطاء ذو سمك مناسب ، وفي العادة ترتكز إحدى نهايتي عينة الاختبار على قاعدة كروية كما في الشكل رقم ( ٥ - ٨ ) . والغرض من القاعدة الكروية هو ضمان إنطباق محور العينة ومكثنة الاختبار بما يعطى توزيعا منتظما للاجهادات.



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

ويفضل أن تكون القاعدة الكروية على السطح العلوي للعينة ، ولكي تكون محصلة القوى على السطح متمركزة مع محور العينة ، فمن الضروري أن يكون مركز

السطح الكروي لهذه القاعدة منطبق على السطح الأفقي للعينة بالرغم من جعل العينة عمودية مع محور الكرة ، وبالنسبة إلى زيادة مقاومة الاحتكاك مع زيادة الحمل فإن القاعدة الكروية تتحرك نتيجة الانحناء الناتج من التحميل ، وفي إختبارات خاصة يمكن عدم استعمال الجزء الكروي بينما في حالات أخرى يستعمل قاعدتين كرويتين ، كما يجب أن تكون أبعاد قاعدة الارتكاز أكبر من قطر العينة .

### ٥ - طريقة اجراء الاختبار :

في الإختبارات التجارية تقاس فقط المقاومة التصوي للضغط وخصوصا للمواد القصفة ويمكن بسهولة تحديد تلك المقامة بده وتراعى عند تمييز عينات الاختبار أن يسمح بتغير في مقاساتها بالحدود الآتية :  
المعادن = ٠,٢٥ م .  
الخرسانة أو الخشب = ٠,٢٥ م .

وتقاس عينات الإختبار الإسطوانية على قطرين متعامدين على الأقل، وإذا احتاج الأمر لمعرفة الوزن الحجمي للخرسانة فيمكن وزن العينة بميزان حساسيته ٠,٠١/ ويجب العناية بوضع العينة في مكنة الإختبار بحيث تكون عمودية تماماً ، وفي الإختبارات الدقيقة يجب إنطباق كل من محور العينة ولوح الارتكاز مع محور مكنة الإختبار بسماح مقداره ٠,٢٥ م ، ويفضل أن يعدل الجزء العلوي من لوح الارتكاز باليد عندما تبدأ مكنة الإختبار في الهبوط لتتطبق مع سطح العينة وذلك لتسهيل إرتكاز جزء المكنة . ويجب تنظيف سطح عينة الإختبار ومكنة الإختبار بأى مادة قبل الإختبار، وذلك لازالة الشحومات الموجودة والتي يمكن أن تؤثر على الاحتكاك الموجود بين الأسطح .

وتتوقف سرعة التحميل في الضغط للكثات ذات الترس والولب على سرعة رأس المكنة ، وفي بعض الاختبارات يمكن ضبط المكنة على سرعات بطيئة . وسرعة المكنة في إختبار عينات الخرسانة تتراوح بين ٠,٥ - ٢ م / دقيقة ويفضل أخذ معدل زيادة الحمل ، كما في الجدول رقم (٥ - ٣) ، وقد تحدد معدل الزيادة في الحمل ٠,٥ م / كجم / سم<sup>٢</sup> / ثانية وذلك لاختبارات مقاومة

الخرسانة للضغط ، وفي بعض الحالات يمكن السماح بأى سرعة مقبولة حتى نصف الحمل الأقصى ، وإذا كان الغرض من الاختبار دراسة العلاقة بين الاجهاد والانفعال فيكون المعدل بين ١,٦ - ٤,٩ كجم / سم<sup>٢</sup> / دقيقة . وعند إجراء اختبار الضغط يراعى انتظام توزيع الإجهادات على السطح .

جدول رقم (٥ - ٣) السرعات المطلوبة لمكثات الاختبار

نوع المادة المختبرة	أ كبر سرعه لمكثه الاختبار سم / دقيقة	معدل التحميل كجم / سم <sup>٢</sup> / ثانية	الزمن حتى التصف الأخير للعدل (ثانية)
المواد المخرقة			
طول يتراوح بين ٢٥-٥٧ سم	١,٢٥		
طول أكبر من ٥٧ سم	٢,٥		
الخرسانة :	١,٢٥	١,٥ - ٤,٥	٢٠ - ٨٠
المونة :			
الخشب :			
موازي لترتيب الألياف	٠,٦		
عمودي على ترتيب الألياف	٠,٣		
الطوب :			٦٠ - ١٢٠
البلاط :			
البلاستيك	١,٢٥ من ١,٢٥ حتى تقطة الخضوع ثم من ٠,٥ إلى ٠,٦٢٥		

الإحتياطات اللازم مراعاتها عند إجراء الضغط :

١ - أن يكون الحمل المؤثر على العينة صحيحاً قيمة واتجاها أى أن ما يتبينه

مكنة الاختبار هو نفسه المؤثر على العينة حيث صغر مقطع العينة المختبرة بالنسبة للمساحة برأس مكنة الاختبار يؤثر في قيمة الحمل المنقل إلى العينة ويتغلب على ذلك باستخدام قطع الارتكاز ( Bearing Blocks ) توضع بين نهايتي العينة وبين مكنة الاختبار . وتكون تلك القطع بمقطع أكبر من مقطع العينة وأقل من مسطح رأس مكنة الاختبار كما يبين من الشكل رقم ( ٥ - ٩ ) كذلك لكي يكون الحمل المؤثر صحيحاً في الاتجاه أى رأسياً دائماً فيجب أن تكون رأس مكنة الاختبار ذات مركز كروي ( Spherical Bearing ) شكل رقم ( ٥ - ٩ ) وهذا المركز يعدل مباشرة أى انحراف في ميل الحمل ويجعله محورياً دائماً .

٢ - يجب منع لاسمورية التحميل (Eccentricity) ويكون ذلك بجعل كل من نهايتي العينة مسطحة وعمودياً على محور العينة شكل رقم ( ٥ - ١٠ ) كذلك يجعل محور العينة منطبقاً مع محور مكنة الاختبار شكل رقم ( ٥ - ١٠ ) .

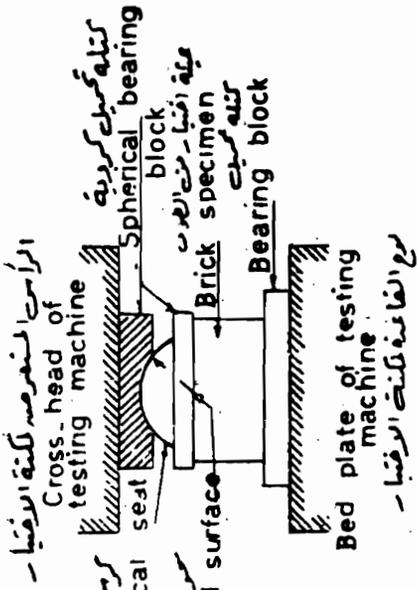
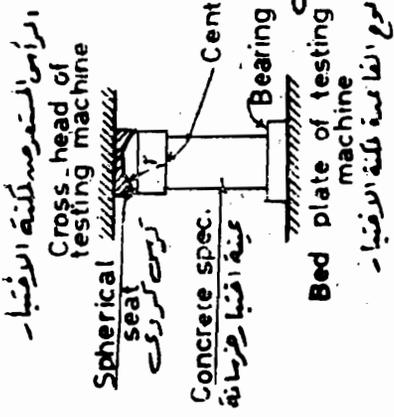
٣ - يجب منع حدوث الانبعاج الجانبي (Euckling) ويكون ذلك بجعل ارتفاع العينة المختبرة لا يزيد على ١٠ مرات قطر بالمقطع المستعرض .

د - طرق تجنب تأثير الاحتكاك بين سطحي عينة الاختبار ورأس مكنة التحميل :

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

ويمكن تجنب هذه القوى غير المرغوب فيها ، وذلك بتشعيم هذه الأسطح المعرضة للاحتكاك باستعمال مادة مناسبة للتشعيم ، ولا يمكن تجنب القوى المسببة للاحتكاك تماماً بالتشعيم عندما تكون الأسطح غير منتظمة .

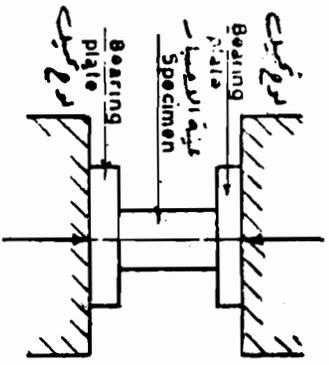
وقد اقترح كل من « ميسير ونهيل » طريقة للحصول على شكل منتظم بقطعة الاختبار وذلك يجعل قطعة الاختبار من ثلاثة أجزاء وبذلك ينتظم التغيير في شكل الجزء الأوسط من عينة الاختبار، وهذه الطريقة تتبع في المواد ذات التغيير القليل في الشكل



SPHERICAL BEARING BLOCKS FOR COMPRESSION TESTS

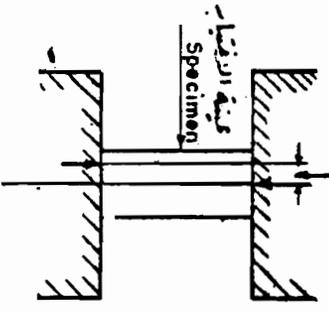
كتلة التعميل الكروية لاختبارات الانضغاط

شكل رقم ( ٠ ١ )

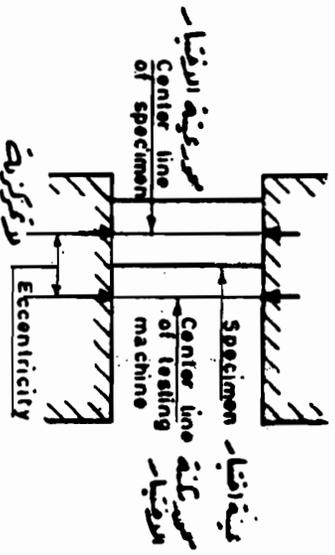


نمایندگی از این نوع آزمایش بر روی  
 یک میله که در مرکز آن یک میله  
 است که در مرکز آن یک میله است

**لا مرکزیت**  
 Eccentricity



لا مرکزیت نتیجه عدم استوار  
 است و نماینده این است



لا مرکزیت نتیجه عدم اطمینان است که  
 است و با مرکزیت

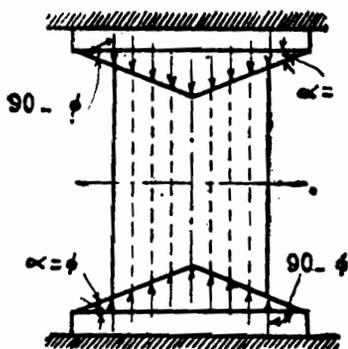
شکل رقم (۱۰-۵)  
 بین انواع عیبه اختبار القنط بکامه الاختیار

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

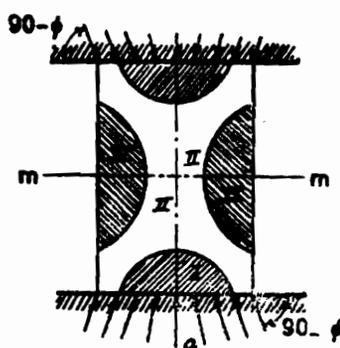
وقد إقترح « زيبيل وبومب » طريقة أخرى لتقليل من الاحتكاك ، وذلك بجعل رأسى مكنة الاختبار بحيث تميل بزاوية مقدارها  $\alpha$  على سطحى عينة الاختبار ( حيث  $\alpha$  تساوى زاوية الاحتكاك بين السطحين ) . وبذلك يتوازى اتجاه الاجهادات مع محور قطعة الاختبار وتحتفظ قطعة الاختبار بشكلها الإسطوانى بعد الاختبار ، ولكن عيب هذه الطريقة الوحيدة هو عدم تساوى توزيع الانفعال على مقطع عينة الاختبار ويمكن إهمال ذلك لو صغرت زاوية الميل ( $\alpha$ ) لتكون بقيمة تتراوح من  $\alpha = 0.05$  إلى  $\alpha = 20$  ، أى من  $\alpha = 3^\circ$  إلى  $\alpha = 14^\circ$  كما فى الشكل رقم (٥ - ١١) وأيضاً بدهان وتشميع 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



FRICTION ZONES IN COMPRESSIVE  
SPECIMEN

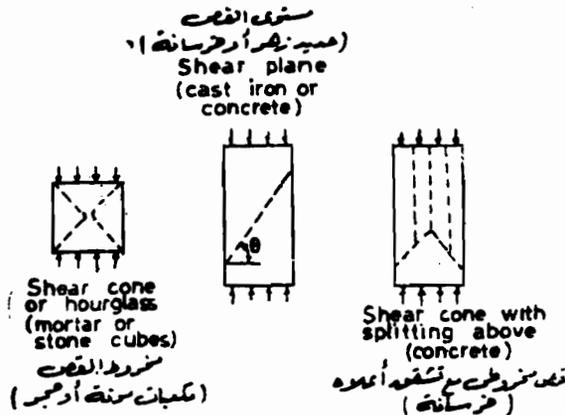
كيفية التغلب على تأثير الاحتكاك في  
إختبار الانضغاط

مناطق الاحتكاك في عينة إختبار الانضغاط

التوضيح بالرسم . وشكل الكسر في المواد القصفة إما أن يكون على مستوى مائل أو على شكل مخروطي (في العينات الاسطوانية) أو على شكل هرمي (العينات المنشورية) وشكل الكسر في الحديد الزهر يكون عادة على مستوى مائل ، وفي الخرسانة على شكل مخروطي وهذه الانهيارات على مستويات قص كما هو موضح بالشكلين رقم (٥-١٢)، (٥-١٣) وفي المواد التي يكون إنهارها نتيجة الاحتكاك الداخلي والتماسك بين مكونات العينة والتي توافق نظرية (موهر) ، يتضح أن زاوية الكسر ليست  $45^\circ$  (مستوى أقصى إجهاد قص) ولكنها تتوقف على زاوية الاحتكاك الداخلية ( $\phi$ )

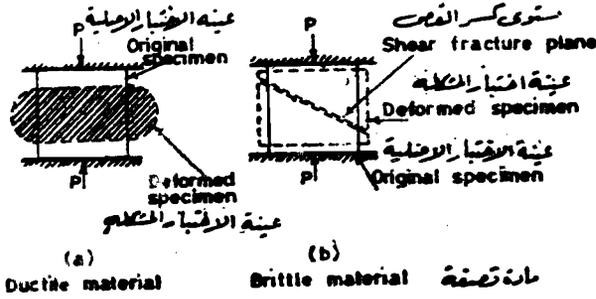
والشكل رقم (٥ - ١٤) يوضح دائرة موهر لعينة معرضة لاجهادات منتظمة.

ويتضح من الشكل المبين أن  $\alpha = 45^\circ - \phi$  أو  $\alpha = 45^\circ + \phi$  وهذه النظرية لا تعطى نتائج صحيحة في الحديد الزهر أو الخرسانة أو السيراميك حيث أن عدم التجانس في هذه المواد لا يعطي 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 في المواد القصفة تحت تحميل الانضغاط



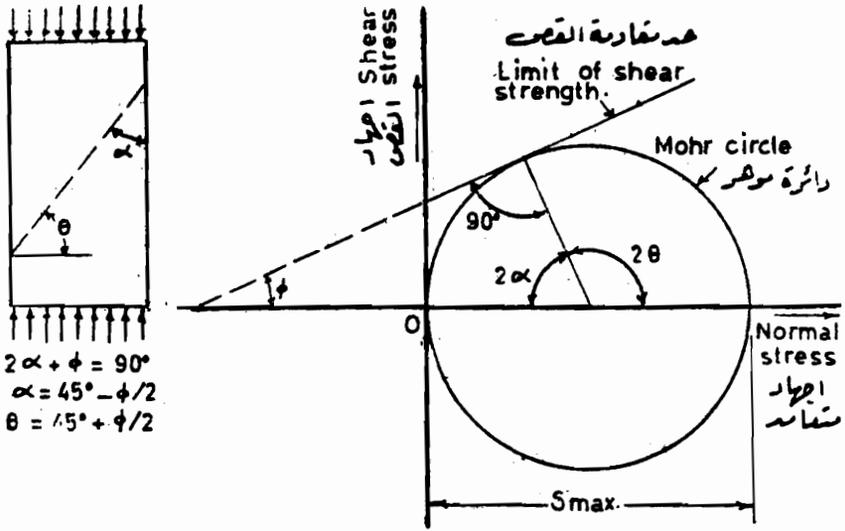
FAILURE OF DUCTILE AND BRITTLE MATERIALS IN COMPRESSION.

### كسر المواد المطيلة والقصفة في اختبار الانضاط

شكل رقم (٥ - ١٢)

الناتجة عن سطحي عينة الاختبار لوجود الاحتكاك بين سطحي العينة ومكنة الاختبار، ويوضح هذا التأثير في العينات القصيرة. والزاوية  $\theta$  لل مواد المختلفة مثل الحديد الزهر والحجر الرملي والطوب والحرسانة تراوح بين  $50^\circ - 60^\circ$  وذلك للعينات ذات الطول المناسب الذي يسمح بحدوث الإنهيار العادي. أما إذا كانت العينة قصيرة حيث لا تنهار بشكل عادي على طول العينة فإن المقاومة تزيد وينتج عن هذا تغير في شكل الإنهيار مثل حالة التشميم.

وعند اختبار عينة قصيرة من مادة قصفة يلاحظ الإنهيار بحدوث فواصل رأسية وتعدد أشكال إنهارات العينات الخشبية حيث أنها مادة لها صفات متغيرة في جميع الاتجاهات حيث تتكون من خلايا متكوثة من النور العنقوى والتي ترتب نفسها على هيئة أنابيب أو أعمدة في إتجاه ترتيب الالياف ونتيجة لهذا البناء تقل قيمة حد المرونة، ولا توجد نقطة خضوع، وتختلف هذه الخواص باختلاف إتجاه التحميل بالنسبة لترتيب الالياف. فالتحميل المسبب للإنهيار للخشب لو كان مؤثراً عمودياً على إتجاه الالياف فإنه يكون أقل قيمة بما لو كان مؤثراً موازياً لإتجاه الالياف حيث تعمل الالياف في الحالة الأخيرة كأعمدة أنبوية تقاوم أكثر تأثير التحميل ويحدث الإنهيار للخشب نتيجة لتشميم الانابيب والشكل رقم (٥ - ١٥) يوضح

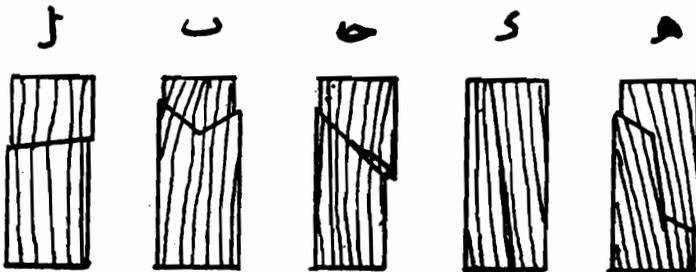


RELATION BETWEEN ANGLE OF RUPTURE  $\alpha$  AND ANGLE OF INTERNAL FRICTION  $\phi$ .

العلاقة بين زاوية الكسر  $\alpha$  وزاوية الاحتكاك الداخلي  $\phi$

شكل رقم (١٤ - ٥)

الاشكال المحتملة لانهارات الخشب عندما يكون الحمل موازياً لترتيب الالياف .  
 أما المواد المطيلة فإنها تتشكل جانبياً عند الضغط وتشبه البرميل بحيث لا تنحني  
 أو تنبج ، أما المواد الأقل مطولية أو المتصلة سطحياً فإنها تنشق سطحياً وتكون  
 الشروخ موازية لاتجاه التحميل وبالتالي يظهر الانهيار بوضوح .



ا - السحق      ب - الانفصال الجانبي      ج - القص  
 د - الانفصال      هـ - القص والانفصال في اتجاه ترتيب الألياف .

شكل رقم (١٥ - ٥) انهيار الخشب عندما يكون الحمل في اتجاه ترتيب الألياف

## ثالثاً - انهيار عينات الاختبار تحت حمل الضغط

## ١ - المعادن المطيئة :

يكون انهيار المعادن المطيئة تحت تأثير حمل الضغط ليس بالكسر لأنها تتفطخ بالضغط ولكن يكون عندما يتعدى انضغاط هذه المعادن القيمة المحددة المسموح بها تبعاً لحالة الجزء المعدني أثناء عمله . ويلاحظ أنه في بعض الحالات الخاصة مثل الحديد المطاوع أو المعادن المصلدة بالتغليف ( Case hardened ) فإن التفطخ يكون مصحوباً بشروخ سطحية رأسية متوازية مع محور تحميل العينة شكل رقم (٥ - ٥) .

## ب - المعادن نصف المطيئة والمعادن القصفة :

يكون انهيار هذه المعادن بالكسر على مستوى يميل بزاوية  $(\theta)$  مع المستوى الأفقي أى مستوى المقطع المستعرض للعينة المختبرة . وهذه الزاوية أكثر من  $45^\circ$  ووجه تساوى :

$\theta = 45 + \phi / 2$  حيث  $\phi$  عبارة عن زاوية الاحتكاك ( Angle fo friction ) للمعدن المختبر . وبذلك تكون زاوية  $\phi$  كبيرة كلما كبرت جزيئات المعدن أى كبرت زاوية احتكاكه مثل الحديد الزهر ( زاوية الكسر  $\theta$  تساوى  $60^\circ$  ) بينما فى حالة النحاس الأصفر حيث جزيئاته أدق من الحديد الزهر فإن زاوية الكسر  $\theta$  تساوى  $50^\circ$  درجة .

ويمكن إثبات أن :  $\theta = 45 + \frac{\phi}{2}$  كما يلي :

العينة الميئة بالشكل رقم (٥ - ١٦) كسرت بتأثير الضغط تحت إجهاد قيمته  $(f)$  على مستوى يعمل زاوية قدرها  $\theta$  مع الأفقى .

وكانت زاوية  $\phi$  تمثل زاوية الاحتكاك للمعدن المختبر وهو رقم ثابت للمعدن الواحد .

مساحة مقطع العينة =  $A$  والحمل المؤثر =  $P$

إجهاد الضغط الأسمى =  $f$  =  $P/A$

مساحة مقطع العينة على مستوى الكسر  $\text{Assec } \theta$   
 القوة  $P$  المحدثه للكسر تؤثر على مستوى الكسر بمحلتين (Components) لإحداهما  
 عمودية على المستوى ( $N$ ) والاخرى موازية للمستوى ( $Q$ ) وقيمة كل منهما :

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

∴ الاجهاد العمودي على مستوى الكسر =  $\frac{\text{المحل العمودي}}{\text{مساحة المستوى}}$

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

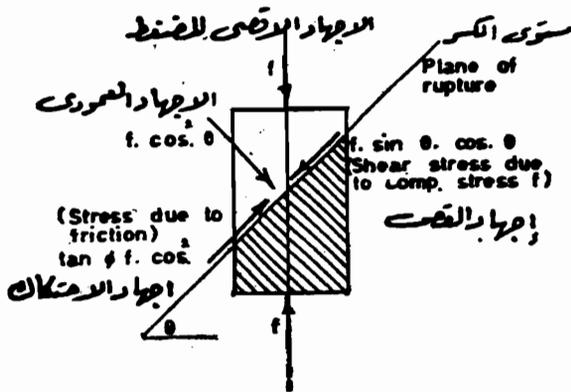
والاجهاد الموازي لمستوى الكسر =  $\frac{\text{المحل الموازي}}{\text{مساحة المستوى}}$

$$f \sin \theta \cos \theta = P / A \cdot \sin \theta \cos \theta = P \cdot \sin \theta / \text{Assec } \theta =$$

كما أن الاجهاد العمودي على مستوى الكسر يسبب إجهاد احتكاك في عكس  
 اتجاه الحركة قيمته  $\tan \phi \cdot f \cdot \cos^2 \theta$

ويؤثر ذلك الاجهاد في اتجاه معاد لاتجاه الاجهاد الموازي لمستوى الكسر  
 السابق ذكره والناج من القوة الخارجية ( $P$ ) .

يتبين إذن مما سبق ومن الشكل رقم (٥ - ١٦) أن الاجهادات المسببة للكسر



زاوية ميل مستوى الكسر للعمود القصية

في اختبار الضغط

$$\theta = 45^\circ + \phi / 2$$

شكل رقم (٥ - ١٦)

عل المستوى الذى يعمل  $\theta$  مع الافقى هى نتيجة فرق تأثير الاجهاد الموازى لمستوى الكسر الناتج من القوة (P) وتأثير لإجهاد الاحتكاك الحادث نتيجة مقاومة وتماسك جزئيات 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 :

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

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

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

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

$$\tan \phi = - \tan (90^\circ - 2\theta) \quad = \tan(2\theta - 90^\circ)$$

$$\therefore \phi = 2\theta - 90^\circ \quad \therefore \theta = 45 + \phi / 2$$

## أمثلة محلولة

٣ - أجرى اختيار الضغط على اسطوانة من الخرسانة قطرها ٢٠ سم وطولها قياسها ٢٥ سم وكانت قراءات الحمل والتغير في الشكل أثناء الاختبار كما يلي :

صفر	١٨٠٠٠	٥٤٠٠٠	٩٠٠٠٠	١٢٦٠٠٠	١٤٤٠٠٠	١٨٠٠٠٠	الحمل (كجم)
صفر	٠,٦٦	٢,٠٥	٤,٠٠	٦,٦٠	٨,٣٠	١٥,٤٠	الانضغاط ( $\frac{1}{100}$ مم)
٢١٥٠٠٠	٢٣٤٠٠٠	٢٥٢٠٠٠	٢٦٠٠٠٠	٢٧٠٠٠٠	٢٧٠٠٠٠	٢٧٠٠٠٠	الحمل (كجم)
٢٣,٤٠	٢٩,٧٠	٤٠,٠٠	٤٧,٠٠	٤٧,٠٠	٤٧,٠٠	٤٧,٠٠	الانضغاط ( $\frac{1}{100}$ مم)

والمطلوب تعيين ما يأتي :

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

(ج) النسبة المثوية للانضغاط عند الكسر .

(د) معايير القاطع عند اجهاد ٤٥,٥ كجم / سم<sup>٢</sup> (هـ) معايير المتانة .

الحل :

$$\text{مساحة المقطع الأصلي للإسطوانة} = ط \times \frac{(٢٠)}{٤} = ٣١٤ \text{ سم}^٢$$

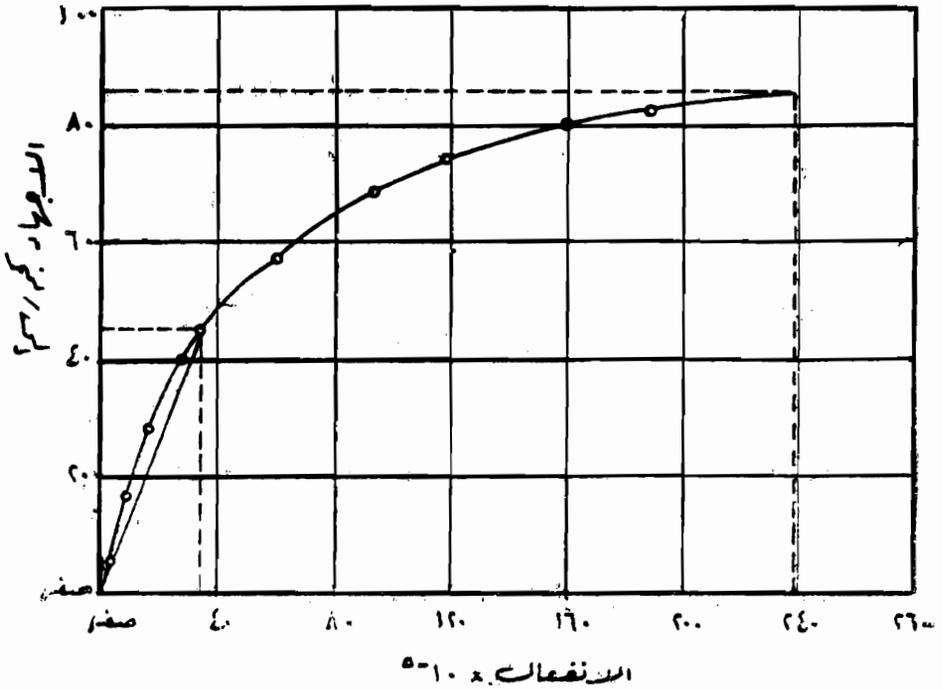
$$\frac{\text{الاجهاد}}{\text{مساحة المقطع الأصلي}} = \text{الانفعال} , \frac{\text{الانضغاط}}{\text{طول القياس}} = \text{الانفعال}$$

صفر	٥,٧٢	١٧,٢	٢٨,٦	٤٠,٠٥	٤٥,٨	٥٧,٢	الاجهاد (كجم / سم <sup>٢</sup> )
صفر	٢,٦٤	٨,٢٠	١٦	٢٦,٤	٣٣,٢	٦١,٦	الانفعال $\times 10^{-٥}$
٦٨,٧٠	٧٤,٥	٨٠,٣٠	٨٦	٨٢,٨	٨٦	٨٦	الاجهاد (كجم / سم <sup>٢</sup> )
٩٣,٦	١١٨,٨	١٦٠,٠	١٨٨,٠	١٨٨,٠	١٨٨,٠	١٨٨,٠	الانفعال $\times 10^{-٥}$

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

(ب) المقاومة القصوى للضغط = ٨٦ كجم / سم<sup>٢</sup>

النسبة المثوية للانضغاط عند الكسر =  $\frac{٢٣٨}{١٠٠٠٠٠} \times ١٠٠ = ٠,٢٣٨ \%$



شكل رقم (٥ - ١٧) المنحنى البياني للاجهاد والانفعال

$$(د) \text{ معيار القاطع عند إجهاد } ٤٥,٥ \text{ كجم/سم}^2 = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{الانفعال}} = \frac{٢-٢٠ \times ٤٥,٥}{٥-١٠ \times ٢٢} = ١٢٨ \text{ طن / سم}^2$$

$$(هـ) \text{ معيار التآنة} = \frac{٢}{٢} \times \text{أقصى إجهاد} \times \text{أقصى انفعال}$$

$$= \frac{٢}{٢} \times ٨٦ \times ٢٢٨ \times ١٠^{-١} = ١٢٧,٠ \text{ كجم/سم}^2$$

٢ - لوح تحميل من الحديد الزهر معرض لخل ضغط قيمته ٨٠ طن. فإذا كانت

أقصى مقاومة ضغط الزهر = ٢٨٠٠ كجم / سم<sup>٢</sup> ، وقيمة الانفعال عند الكسر

له = ١٠ ، مم / مم - أحسب مساحة مقطع لوح التحميل على أساس أن :

(١) المقاومة القصوى مستعملا عامل أمان = ٨

(ب) التآنة - إذا كانت طاقة الانفعال لاسيوح بها =  $\frac{١}{٨}$  معيار التآنة .

الحل :

(١) على أساس المقاومة القصوى :

$$\text{إجهاد التصميم} = \frac{\text{المقاومة القصوى}}{\text{عامل الأمان}} = \frac{2800}{8} = 350 \text{ كجم / سم}^2$$

$$\text{مساحة مقطع لوح التحميل} = \frac{\text{حمل الضغط}}{\text{إجهاد التصميم}} = \frac{10000}{228} = 43.8 \text{ سم}^2$$

(ب) على أساس المتانة .

يفرض أن العلاقة بين الإجهاد والانتقال للحديد الزهر في الضغط تأخذ شكل قطع

$$f^2 = k.e \quad \text{مكافئ أي أن :}$$

حيث  $f$  الإجهاد ،  $e$  الانتقال و  $k$  مقدار ثابت يمكن تعيينه كما يلي :

$$\text{بالتعويض بقيمة } f = 2800 \text{ كجم سم}^{-2} , e = 0.01$$

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

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

∴ معادلة الإجهاد والانتقال هي  $f^2 = (7.85 \times 10^8) \cdot e$

$$T = \frac{2}{3} f.e \quad \text{وتكون طاقة الانتقال هي (T) :$$

$$\therefore f = \sqrt[3]{(7.85 \times 10^8) \cdot \frac{3}{2} T}, T = \frac{2}{3} f \cdot \frac{19}{7.84 \times 10^8}$$

أقصى طاقة انتقال = معايير المتانة = أقصى إجهاد . أقصى انتقال

$$18.7 \text{ كجم / سم}^2 = 0.01 \times 2800 \times \frac{2}{3} =$$

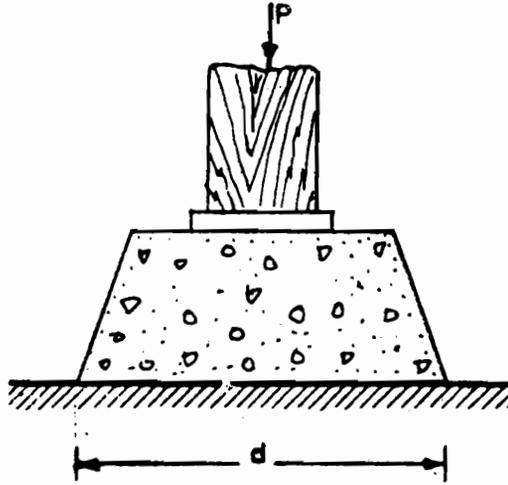
$$\text{طاقة الانتقال المسموح بها} = \frac{18.7}{8} = \frac{18.7}{8} = 2.34 \text{ كجم / سم}^2$$

∴ الإجهاد المسموح به  $f$  يساوي :

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

$$\therefore \text{مساحة مقطع لوح التحميل} = \frac{\text{الحمل}}{\text{الإجهاد المسموح به}} = \frac{80000}{1400} = 57 \text{ سم}^2$$

٢ - 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 في شكل رقم (٥ - ١٨). عين الحمل (P) إذا كان إجهاد الضغط المسموح به في الخشب ١٠٠ كجم / سم<sup>٢</sup> وفي الخرسانة ٤٥ كجم / سم<sup>٢</sup>، ثم احسب البعد (d) عند أسفل القاعدة الخرسانية بحيث لا يزيد إجهاد التحميل على التربة على ٥، ٣ كجم / سم<sup>٢</sup>.



شكل رقم (٥ - ١٨)

الحل :

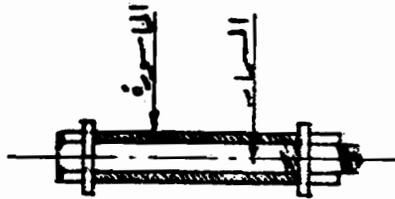
$$\begin{aligned} \text{مساحة مقطع العمود الخشب} &= 20 \times 20 = 400 \text{ سم}^2 \\ (P_1) \text{ الحمل المسموح التأثير به على الخشب} &= \text{مساحة المقطع} \times \text{الإجهاد المسموح به} \\ &= 100 \times 400 = 40000 \text{ كجم} \\ \text{مساحة الخرسانة المعرضة لأقصى إجهادات ضغط} &= 30 \times 30 = 900 \text{ سم}^2 \\ \therefore (P_2) \text{ الحمل المسموح التأثير به على الخرسانة} &= 45 \times 900 = 40500 \text{ كجم} \\ \therefore \text{الحمل } P \text{ هو الحمل } P_1 \text{ أو } P_2 \text{ أيهما أصغر ويساوي } &P = 40000 \text{ كجم} \end{aligned}$$

مساحة أسفل القاعدة الخرسانية = إجهاد التحميل المسموح به لآتربة الحمل ( P )

$$11400 \text{ سم}^2 = \frac{40000}{0,3}$$

$$1,07 \text{ سم} = \sqrt{11400 \cdot V} = d.$$

٤ - مسار صاموله من العلب قطره ٢٢ سم وخطوة قلاووظه ٣,٦ سم، أدخل في ماسورة من النحاس الأصفر قطرها الداخلى ٣٢ سم وقطرها الخارجى ٥ سم وطولها ٣٨ سم - كما فى شكل رقم (٥ - ١٩)، احسب الزاوية التي يمكن ربط الصامولة بها بحيث لا يزيد إجهاد الشد على مادة المسار عن ١٠٠٠ كجم / سم<sup>٢</sup>، احسب كذلك الاجهاد فى الماسورة النحاس، إذا علم أن معايير المرونة للصلب ٢ × ١٠ كجم/سم<sup>٢</sup> ومعايير المرونة للنحاس ١ × ١٠ كجم / سم<sup>٢</sup>.



شكل رقم (٥ - ١٩)

الحل :

يلاحظ أن الزيادة فى طول المسار + النقص فى طول الماسورة = المسافة التي تنقلها الصامولة على المسار

$$\text{مساحة مقطع المسار} = \frac{P(3,2) \times P}{4} = 8 \text{ سم}^2$$

$$\text{مساحة مقطع الماسورة} = \frac{P}{4} (2,2 - 2,5) = 12 \text{ سم}^2$$

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

$$\text{الحمل (P)} = \text{مساحة مقطع المسبار} \times \text{الاجهاد بالمسبار}$$

$$= 1000 \times 8 = 8000 \text{ كجم}$$

$$\text{الاجهاد في الماسورة} = \frac{\text{الحمل (P)}}{\text{مساحة مقطع الماسورة}} = \frac{8000}{12} = 667 \text{ كجم / سم}^2$$

$$\text{الزيادة في طول المسبار} = \frac{\text{الاجهاد في المسبار}}{\text{معايير مرونة الصلب}} \times \text{طول المسبار}$$

$$\text{الزيادة في طول المسبار} = \frac{100}{10 \times 2} \times 28 = 280 \text{ سم}$$

$$\text{النقص في طول الماسورة} = \frac{\text{الاجهاد في الماسورة}}{\text{معايير مرونة النحاس}} \times \text{طول المسبار}$$

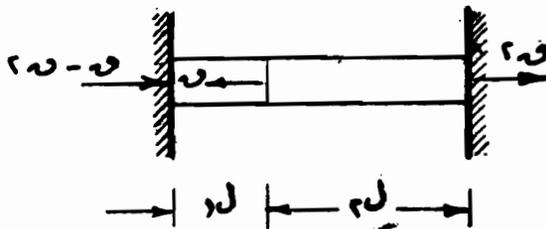
$$= 28 \times \frac{667}{10 \times 1} = 280 \text{ سم}$$

$$\therefore \text{المسافة التي تنتقلها الصامولة} = 280 + 280 = 560 \text{ سم}$$

$$\text{أي أن الزاوية التي ترتبط بها الصامولة} = \frac{\text{المسافة التي تنتقلها الصامولة}}{\text{خطوة القلاووظ}} \times 180^\circ$$

$$= 180^\circ \times \frac{560}{3,6} = 22^\circ$$

٥ - القضيب المبين بشكل رقم (٥ - ٢٠) ذو مقطع مستعرض منتظم ومثبت تماماً بين حائطين ، فإذا أثر حمل محوري ق على القضيب على بعد  $l_1$  من النهاية اليسرى القضيب أحسب ردود الأفعال عند نهايتي القضيب .



شكل رقم (٥ - ٢٠)

الحل :

نفرض أن رد الفعل عند النهاية اليمنى من القضيب =  $Q_2$   
 فيكون رد الفعل عند النهاية اليسرى من القضيب  $Q_1 = Q - Q_2$   
 ويكون الجزء الأيمن بطول  $L_2$  معرضاً لقوة شد مقدارها  $Q_2$   
 بينما الجزء الأيسر بطول  $L_1$  يتعرض لقوة شد مقدارها  $(Q - Q_2)$   
 ويلاحظ أن الاستطالة في الجزء الأيمن = النقص في طول الجزء الأيسر

$$\text{الاستطالة في الجزء الأيمن} = \frac{\text{الإجهاد في الجزء الأيمن} \times \text{طول الجزء الأيمن}}{\text{معايير مرونة القضيب}}$$

$$Q_2 \times \frac{L_2}{E \cdot M}$$

$$\text{كذلك فإن النقص في طول الجزء الأيسر} = \frac{Q - Q_2}{E} \times L_1$$

حيث  $M$  هي مساحة المقطع المستعرض للقضيب ،  $E$  هي معاير المرونة للقضيب

$$\therefore Q_2 \times \frac{L_2}{E \cdot M} = \frac{Q - Q_2}{E} \times L_1$$

$$Q_2 L_2 = (Q - Q_2) L_1$$

$$\therefore Q_2 = \frac{L_1}{L_1 + L_2} \cdot Q$$

$$\text{ويكون رد الفعل عند الطرف الأيسر } Q_1 = Q - Q_2 = Q \left[ 1 - \frac{L_1}{L_1 + L_2} \right]$$

$$= \frac{L_2}{L_1 + L_2} \cdot Q$$

## مسائل

١ - أجرى اختبار الضغط على عينة أسطوانية من الحديد الزهر مساحة مقطعها  $١٠ \text{ سم}^2$  وطول القياس  $٢٠٠ \text{ مم}$  . فإذا كانت النتائج بين الحمل والانهيار كما سجلت أثناء الاختبار كما يلي :

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

ارسم منحني الاجهاد العادي والانهيار العادي لعينة الحديد الزهر المختبر في الضغط ثم عين :

(١) إجهاد الكسر .

(ب) معايير التماس الابتدائي .

(ج) معايير التماس ومعايير القاطع عند إجهاد ضغط  $٢٤٠٠ \text{ كجم / سم}^2$  .

(د) معايير المتانة في الضغط .

٢ - عمود أجوف مصنوع من الحديد الزهر يتعرض لحمل ضغط محوري قيمته  $٣٧ \text{ طن}$  . عين قطر العمود الداخلي إذا كان قطره الخارجى  $١٥ \text{ سم}$  بحيث لا يزيد إجهاد الضغط في العمود عن  $٥٠٠ \text{ كجم / سم}^2$  .

٣ - كتلتان  $١٠ \times ٢٠ \times ٥٠ \text{ سم}$  معرضتان لحمل ضغط عن طريق لوح كما هو مبين بالشكل رقم (٥ - ٢١) فإذا كانت الكتلة الأولى مصنوعة من الحديد الزهر الرمادى والأخرى من الخشب . عين قيمة الحمل (P) عندما يكون الإجهاد في الحديد الزهر  $١٦ \text{ كجم / سم}^2$  . مع افتراض أن الحمل يحدث نفس النقص في الطول في كلا الكتلتين . عين أيضا المسافة بين الحمل (P) ومحور الكتلتين .

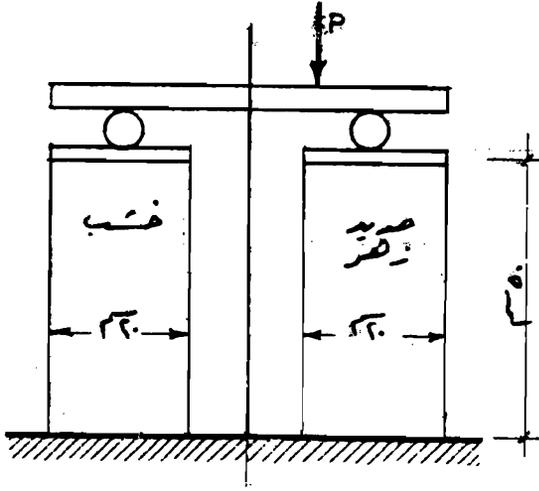
معايير المرونة للحديد الزهر في الضغط  $١٠٠٠ \text{ طن / سم}^2$  .

معايير المرونة للخشب  $١٤٠ \text{ طن / سم}^2$  .

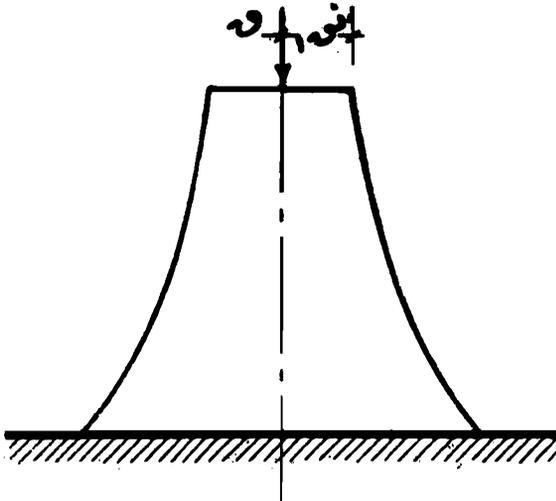
٤ - جسم دوراني الشكل محمل بحمل قيمته Q كما هو مبين في الشكل رقم

(٥ - ٢٢) . فإذا كان نصف قطر القاعدة العليا = تق والوزن النوعي لمادة الجسم =  $\text{كجم / سم}^3$

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)



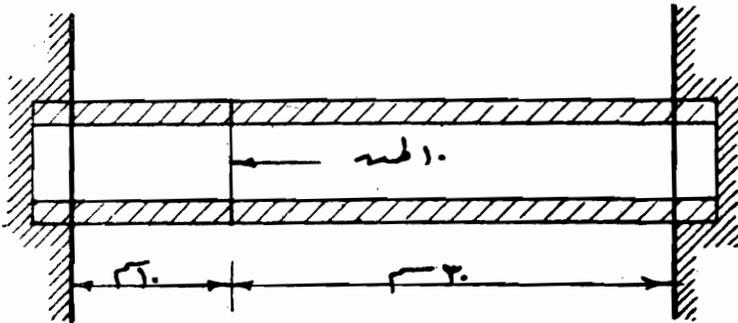
شكل رقم (٥ - ٢٢)

٥ - عمود صلب قطره ٥ سم أدخل فى ماسورة برونز قطرها الداخلى ٥ سم وقطرها الخارجى ٦,١ سم بحيث يكونان جنبا و احدا أو المجموعة مثبتة تماما بين حاجزين

جاسئين المسافة بينهما ٤٠ سم كما هو في شكل رقم (٥ - ٢٣) . فإذا أثر حمل محوري قدره ١٠ طن على القضيب المركب على بعد ١٠ سم 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 .

معايير المرونة للصلب = ٢١٠٠٠ طن / سم<sup>٢</sup>

ومعايير المرونة للبرونز = ٨٤٠ طن / سم<sup>٢</sup>



شكل رقم (٥ - ٢٣)

## تمرين رقم ( ١٠ )

### اختبار الضغط للمعادن

١ العجال :

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

٢ - عينات الاختبار :

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

٣ - أدوات الاختبار :

يحتاج لإجراء الاختبار إلى مكينة اختبار الضغط ذات سعة لا تقل عن ١٠٠ طن - كتلى تحميل ( Boairng Blocks ) - مقياس ورنية .

٤ - خطوات إجراء الاختبار :

( أ ) يقاس قطر وارتفاع قطعة اختبار الصلب الطرى باستخدام مقياس الورنية .  
( ب ) توضع قطعة الاختبار بين كتلى التحميل في مكينة اختبار الضغط مع مراعاة أن ينطبق محور العينة مع محور مكينة الاختبار . ثم تضبط مكينة الاختبار لرسم العلاقة بين الحمل والانهماط تلقائياً .

( ج ) تحمل قطعة الاختبار تدريجياً بسرعة لا تزيد على ١,٢٥ مم / دقيقة ويسجل أثناء التحميل حمل الخضوع ( إن وجد ) ثم حمل الكسر ( إن وجد - ففي حالة الصلب الطرى لا يحدث كسر لذلك يكفي بتحميل قطعة الاختبار حتى حمل مقداره ١٠٠ طن ) .

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

( هـ ) تكرر نفس الخطوات السابقة لقطع اختبار النحاس الأصفر والحديد الزهر

## ٥ - نتائج الاختبار :

$$\text{— بحسب إجهاد الخضوع} = \frac{\text{حمل الخضوع}}{\text{مساحة المقطع الأصلي}}$$

$$\text{كما تحسب مقاومة الضغط} = \frac{\text{حمل الكسر}}{\text{مساحة المقطع الأصلي}}$$

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

نوع المعدن	القطر ( مم )		حمل الخضوع كجم	إجهاد الخضوع كجم / سم <sup>٢</sup>	حمل الكسر كجم	مقاومة الضغط كجم / سم <sup>٢</sup>	زاوية ميل
	بد	الأصلي					
صلب طرى							
نحاس أصفر							
حديد زهر							

ج - من الجدول السابق والرسم التلقائي لمنحنى الحمل والانضغاط للمعادن الثلاثة يمكن المقارنة بين سلوك كل منها تحت تأثير حمل الضغط الاستاتيكي .

## ٦ - مثال تطبيقي :

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

نوع المعدن	القطر ( مم )		حمل الخضوع كجم	إجهاد الخضوع كجم / سم <sup>٢</sup>	حمل الكسر كجم	مقاومة الضغط كجم / سم <sup>٢</sup>	زاوية ميل مستوى
	بد	الأصلي					
صلب طرى	٣٢	٤٧	١٨٠٠٠	٢٢٤٠	—	—	لا يحدث كسر حتى حمل ١٠٠ طن
نحاس أصفر	٣٢	٤٤	—	—	٨٥٥٠٠	١٠٦٠٠	حوالى ٥٠ درجة
حديد زهر	٢٢	٢٨	—	—	٦٩٠٠٠	٨٦٠٠٠	حوالى ٦٠ درجة

والمطلوب ما يلي :

- (أ) المقارنة بين سلوك هذه المعادن تحت تأثير حمل الضغط الاستاتيكي .  
 (ب) المقارنة بين هذه المعادن من حيث مدى مقاومتها للضغط وقابليتها للانضغاط  
 (١) يتضح من المنحنى التلقائي للحمل والانضغاط لهذه المعادن ما يلي :

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

٢ — بالنسبة للنحاس الأصفر : يتناسب الحمل والانضغاط تناسباً خطياً في البداية ثم تحول العلاقة بين الحمل والانضغاط إلى منحنى وتستمر كذلك حتى يحدث الكسر على مستوى يميل بزاوية حوالى  $50^\circ$  على الأفقى .

٣ — بالنسبة للحديد الزهر : تكون العلاقة بين الحمل والانضغاط بشكل منحنى من البداية حتى يحدث الكسر على مستوى يميل بزاوية مقدارها حوالى  $60^\circ$  على الأفقى .  
 (ب) — يتضح من الجدول السابق أن الصلب الطرى أكثر هذه المعادن مقاومة للضغط يليه النحاس الأصفر ثم الحديد الزهر .

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

#### ٧ — الثالثة :

- ١ — هل يمكن اعتبار اختبار الضغط للمعادن اختيار قبول لها في الأعمال الهندسية ؟  
 ٢ — لماذا يعتبر اختبار الضغط اختباراً قياسياً ضرورياً لقبول المواد غير المعدنية ؟  
 ٣ — لماذا يجرى أحياناً اختبار الضغط للمواد المعدنية ؟  
 ٤ — ارسم المنحنى اللياني للحمل والانضغاط لكل من عينة الصلب الطرى والنحاس

- الاصفر والحديد الزهر تحت تأثير حمل الضغط والموقع تلقائياً بمكنة الاختبار .
- ٥ - عين باستخدام نتائج الاختبارات - كل من اجهاد الخضوع في الضغط واجهاد مقاومة الضغط وذلك لكل من العينات المعدنية المختبرة .
- ٦ - ارسم تخطيطياً شكل مكسر العينات المختبرة ثم اشرح سبب ذلك الكسر . .
- ٧ - اثبت لماذا تنكسر عينات اختبار الضغط للمعادن القابلة للقص بواسطة القص على مستوى يصنع زاوية  $\theta$  مع الأفقى بحيث  $\theta = 45^\circ + \frac{\phi}{2}$  حيث  $\phi$  هي زاوية احتكاك المعدن المختبر .
- ٨ - لماذا يصير شكل عينة اختبار الضغط المستديرة المقطع بشكل برمبل تحت تأثير حمل الضغط؟ وهل يمكن منع تكون ذلك الشكل؟ وضح كيف يمكن ذلك .
- ٩ - اشرح لماذا يجب أن تكون عينة اختبار المعادن في الضغط ذات مقطع مستعرض مستدير؟
- ١٠ - ما هي الاشتراطات الواجب توافرها في عينات اختبار المعادن في الضغط؟ اشرح لماذا؟
- ١١ - ارسم تخطيطياً عينات اختبار الضغط المستخدمة لاختبارات المعادن . بين متى يمكن استخدام كل من هذه العينات؟
- ١٢ - ما هي الاحتياطات الواجب اتخاذها عند إجراء اختبار الضغط للمعادن؟ اشرح السبب في كل حالة .
- ١٣ - ارسم تخطيطياً شكل عينه اختبار الحديد المطاوع بعد انهيارها نتيجة لتأثير حمل الضغط . ثم اشرح سبب حدوث الانهيار بهذا الشكل .