**Properties and Testing of Materials III**

**CIV 144**

*2- Non-destructive testing of concrete*

***(Loading Test + solved example)***.

*3- Shrinkage & Creep.*

*4- Impact +* ***(Solved Sheet)***.

*5-Fatigue +* ***(Solved Sheet)***.

# Loading Test إختبار التحميل

الغرض من الإختبار هو إختبار كفاءة العنصر الإنشائى فى تحمل الأحمال التصميمية التى صُمم من أجلها. ويجرى الإختبار على الكمرات أو البلاطات أو الأسقف أو المنشأ ككل. أما العناصر الغير معرضه لعزوم إنحناء مثل الأعمدة أو القواعد يتم تقييم أمانها عن طريق التحليل الإنشائى ولا يجوزعمل إختبارات تحميل لها.

## ***متى يتم إجراء هذا الإختبار؟***

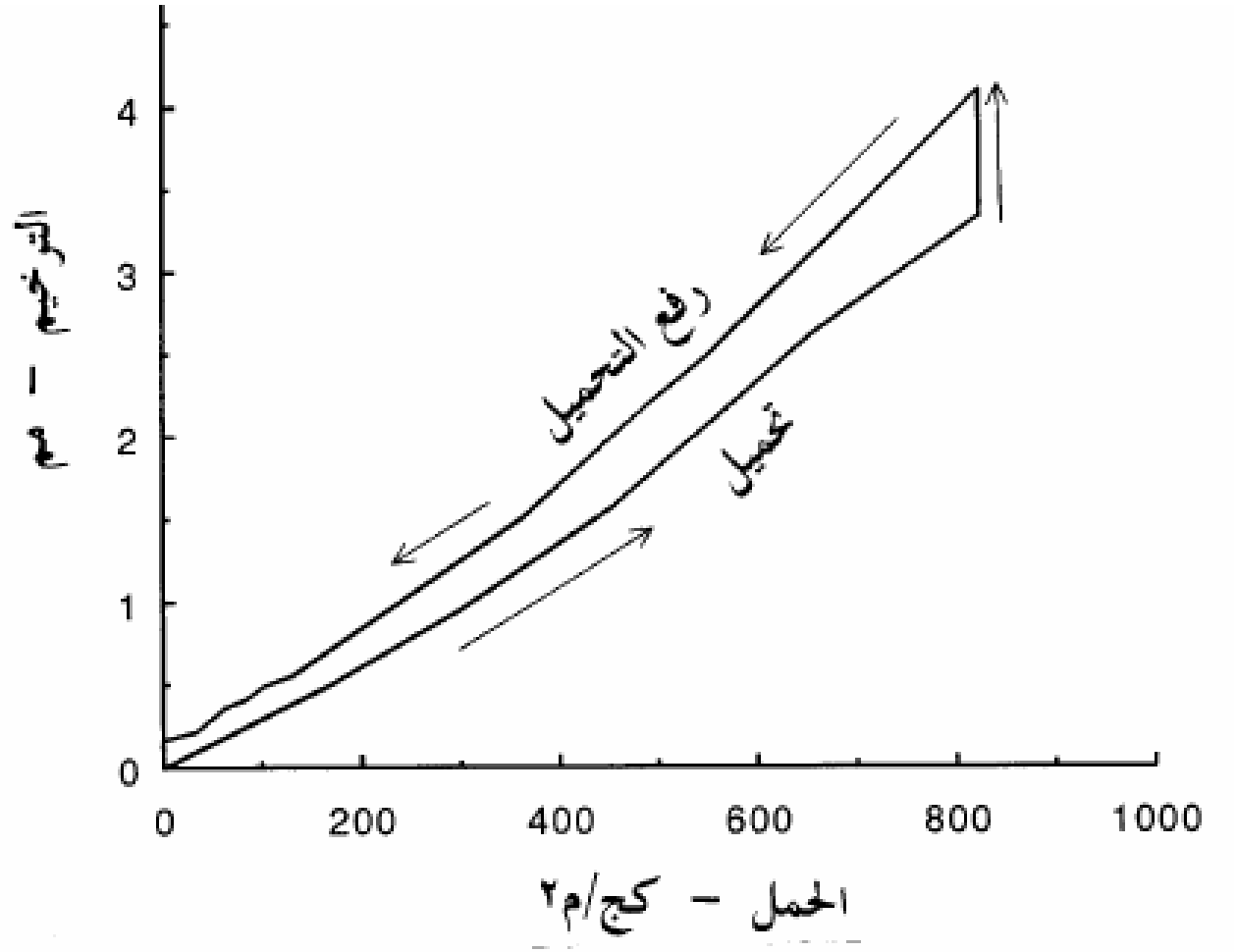
- إذا كان هناك شك فى كفاءة المنشأ.
- إذا كانت هناك أسباب تدعو إلى ذلك مثل وجود هبوط غير منتظم فى أجزاء من المنشأ.
- إذا فشلت نتائج القلب الخرسانى.
- إذا نُص على ذلك فى المواصفات والإشتراطات الخاصة بالمشروع.

ولا يتم إجراء الإختبار قبل مرور ستة أسابيع من إبتداء تصلد الخرسانة.

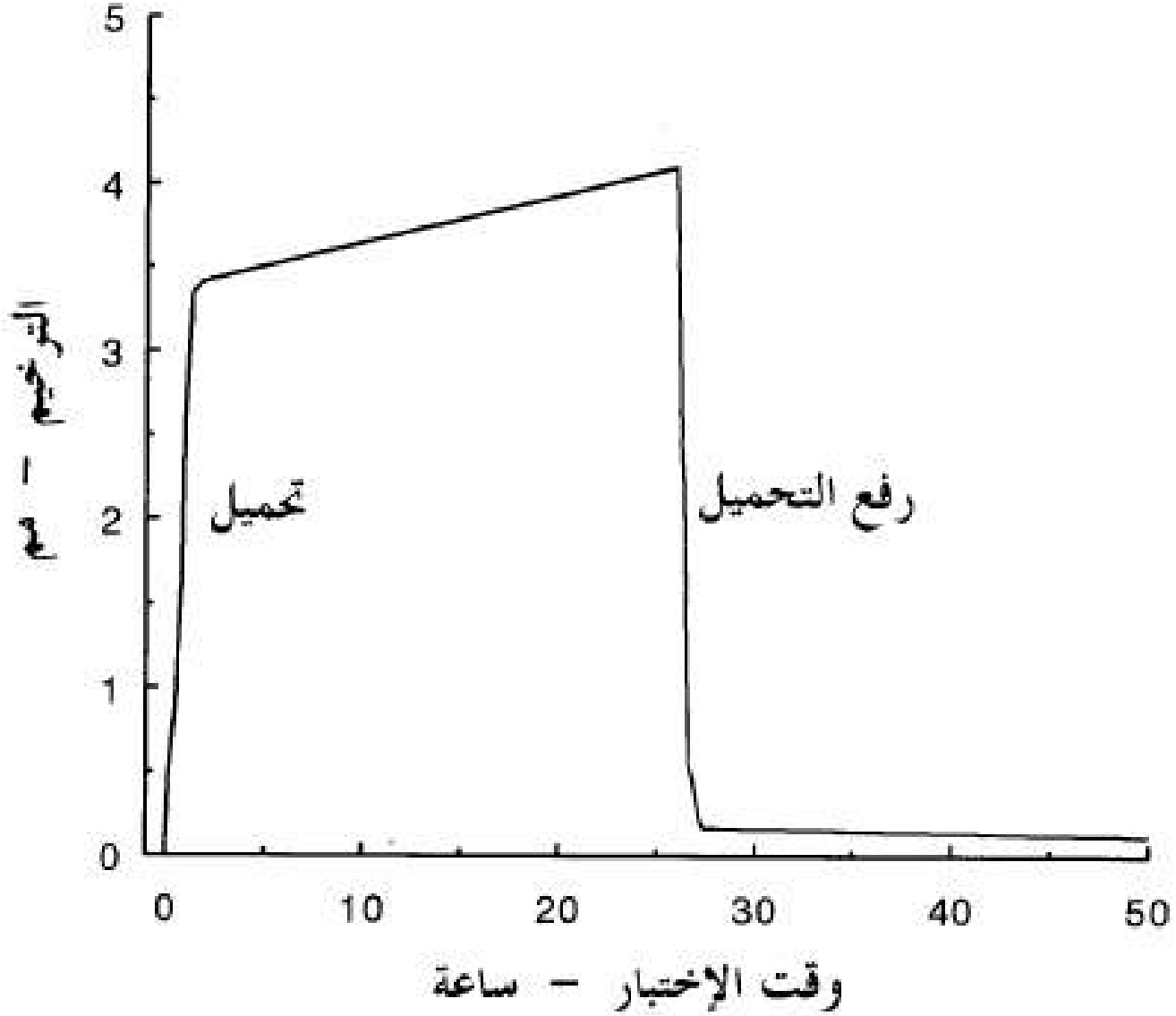
## القياسات المطلوبه

- يقاس سهم الإنحناء قبل إجراء الإختبار.
- يقاس سهم الإنحناء أثناء التحميل التدريجى.
- يقاس سهم الإنحناء بعد إجراء التحميل ومرور ٢٤ ساعة.
- يقاس عرض الشروخ بعد التحميل.
- يقاس سهم الإنحناء بعد ٢٤ ساعة من رفع الأحمال.

ويمكن رسم العلاقات بين الحمل وسهم الإنحناء وكذلك العلاقة بين الزمن وسهم الإنحناء كما بالشكل التالي.




**العلاقه بين الحمل -سهم الإنحناء- الزمن لإختبار التحميل.**




**العلاقه بين الحمل -سهم الإنحناء- الزمن لإختبار التحميل.**

## الأحمال

**يعرض جزء المنشأ المراد إختباره لحمل مقداره:**

**٠،٨٥ [١،٤ (اللأحمال الدائمه) + ١،٦ (الأحمال الحيه)]**

مع مراعاة إجراء التحميل على أربعة مراحل متساوية تقريباً بدون إحداث أى صدمات أثناء التحميل. وتشمل الأحمال الدائمة وزن الأرضيات و القواطيع والبياض .. إلخ ، ولاتشمل الأحمال الموجودة فعلاً وقت إجراء الإختبار مثل الوزن الذاتى للبلاطة أو ما شابه. ويتم تحميل العنصر الإنشائى المطلوب إختباره والعناصر المجاورة له بحيث نحصل على أحرج وضع لتحميل هذا العنصر Critical Load.

## الأحتياطات أثناء التحميل

توضع قوائم مثبتة تحت الأجزاء المحملة بشرط ترك مسافة تسمح بالإنحناء للجزء موضوع الإختبار وأن تكون بالعدد الكافى لتتحمل الحمل بأكمله.

## شريط القبول:

**يعتبر المنشأ قد إستوفى شروط الأمان إذا تحقق ما يلى :**

**١- إذا كانت أكبر قيمة لسهم الإنحناء $\delta_{max}$ فى العنصر المختبر أقل من أو تساوى:**

$$\delta \text{ max} \leq L_t^2 / 20000\ t \text{ .....mm}$$

حيث $L_t$ = البحر مقاس بالمليمتر، **t** سمك العنصر بالمليمتر.

- تؤخذ $L_t$ فى حالة الكوابيل بضعف المسافه لبحر الكابولى.
- تؤخذ $L_t$ هى طول الإتجاه الأصغر فى حالة البلاطات اللاكمرية أو ذات الإتجاهين.

٢- إذا زاد سهم الإنحناء الأقصى عن القيمة المحسوبة بالمعادلة السابقة فيجب أن يكون الجزء المسترجع من سهم الإنحناء الأقصى بعد ٢٤ ساعة من رفع الحمل لا يقل عن ٧٥ % من قيمة سهم الإنحناء الأقصى - وعرض الشروخ فى حدود المسموح به.

-إذا لم يختف ٧٥% من سهم الإنحناء الأقصى فيجب إعادة الإختبار بنفس الطريقة السابقة بعد مدة لا تقل عن ٧٢ساعة على رفع وإزالة أحمال التجربة الأولى.

-إذا لم يختف ٧٥% من سهم الإنحناء الأقصى الذى ظهر أثناء الإختبار الثانى أو أن تكون الشروخ أكبر من المسموح به يعتبر المنشأ غير مقبول.

إذا ظهر على أى جزء من المنشأ أثناء الإختبار أو بعد رفع الحمل أى شىء من الآتى:

١- علامة من علامات الضعف.
٢- سهم إنحناء غير منتظر.
٣- خطأ فى طريقة الإنشاء.
٤- إتساع أكبر غير منتظر للشروخ.

**فيتبع المصمم الحلول التالية:**

١- وضع ركائز إضافية إن أمكن.
٢- عمل تخفيض فى الأحمال الحية.
٣- تحسين توزيع الأحمال.
٤- عمل التخفيض الممكن فى الأحمال الميتة.
٥- عمل تقويات للعناصر الأساسية إن أمكن.

## رفض الأعمال

يعتبرالمنشأ غير صالح للإستعمال للغرض الذى أنشئ من أجله إذا كانت جميع هذه الإجراءات غير كافيه.

## عدم تحقيق الخرسانه لمتطلبات التصميم

فى حالة عدم تحقيق مقاومة الخرسانة لمتطلبات المشروع سواء للعينات المأخوذة من الخرسانة أثناء التنفيذ مثل المكعبات أو للإختبارات غير المتلفة فإنه يتم الرجوع إلى مصمم المشروع أو الإستشارى لعمل التحليل والمراجعة الإنشائية على ضوء المقاومة الفعلية للخرسانة المنفذة بالمنشأ مع الأخذ فى الإعتبار الآتى:

١- إذا تحقق من خلال التحليل الإنشائى أن المنشأ بجميع عناصره يمكنه تحمل الأحمال المصمم عليها وأن أدائيته وسلوك عناصره تحت هذه الأحمال وبحالة خرسانته الراهنة مطابقة للحدود المنصوص عليها بكود الممارسة المعتمد فإنه يمكن إعداد تقرير أمان وسلام للمنشأ.

هذا ويمكن إضافة بنود خاصه بحماية الخرسانة ومتانتها قد يراها الإستشارى للحفاظ على المنشأ مع الزمن مع تحميل المقاول تكاليف هذه الأعمال المستجدة وكذلك التعويض المالى المناسب لعدم تحقيقه متطلبات العقد.

٢- إذا لم يتحقق للمنشأ من خلال التحليل الإنشائى الكامل وعلى ضوء حالة الخرسانات المنفذة تحمله للأحمال المصمم عليها نظراً لضعف مقاومة الخرسانة فإنه يمكن للإستشارى دراسة الحلول الآتية:

أ- وضع ركائز إضافية إن أمكن بحيث لا تؤثر تأثيراً غير مقبول على الناحية المعمارية أو الجمالية أو الوظيفية للمنشأ.

ب- عمل التخفيض الممكن فى الأحمال الميته وغيرها وتحسين توزيع الأحمال وتعديل ترتيب الأحمال المركزة.

ويعتبر المنشأ غير صالح للإستعمال للغرض المصمم من أجله إذا كانت جميع هذه الإجراءات لا تزال غير كافية.

**المعطيات :**

- أجرى اختبار التحميل على بلاطة خرسانية أبعادها ٦,٦م × ٥,٤ م وسمكها ١٥ سم.
- سهم الانحناء فى اليوم التالي لإجراء التحميل = ١٢ مم.
- سهم الانحناء بعد رفع الأحمال = ٥ مم.

**المطلوب :**

١- ما هو الغرض من إجراء اختبار التحميل ومتي نلجأ لمثل هذا الاختبار.
٢- وضح إذا كانت البلاطة قد استوفت شروط الآمان أم لا.
٣- وضح بعض الحلول الممكنة التى يمكن إتباعها إذا ظهر على المنشأ أثناء اختبار التحميل أي علامة من علامات الضعف أو عدم القبول.

. . . . . **الحـــــل** . . . . . .

١- الغرض من اختبار التحميل هو اختبار كفاءة العنصر الإنشائي فى تحمل الأحمال التصميمية التى صمم من أجلها.

ونلجأ لمثل هذا الاختبار فى الحالات الآتية:

- إذا كان هناك شك فى كفاءة المنشأ.
- إذا كانت هناك أسباب تدعوا إلى ذلك مثل وجود هبوط غير منتظم فى أجزاء المنشأ.
- إذا فشلت نتائج القلب الخرساني.
- إذا نص على ذلك فى المواصفات والاشتراطات الخاصة بالمشروع.

٢- تحليل اختبار التحميل على البلاطة الخرسانية :

$\delta_{max} \leqq (L_t)^2 / 20000\ t$ $\qquad$ $\delta_{max} \leqq (5.4 \times 1000)^2 / 20000 \times 150 = 9.72\ mm$

ولكن سهم الانحناء فى اليوم التالي لإجراء الاختبار = ١٢ مم
إذن سهم الانحناء > δmax

و سهم الانحناء بعد رفع الأحمال = ٥ مم
إذن استرجاع قيمة الانحناء = (١٢-٥) / ١٢ = ٥٨ % < ٧٥ %.

**إذن هذه البلاطة الخرسانية غير آمنة.**

٣- الحلول الممكنة التى يمكن اتبعاها إذا ظهر على المنشأ اختبار التحميل علامات الضعف هى :

١- وضع ركائز إضافية إن أمكن .
٢- عمل تخفيض فى الأحمال الحية
٣- تحسين توزيع الأحمال .
٤- عمل التخفيض الممكن فى الأحمال الميتة.
٥- عمل تقويات للعناصر الأساسية إن أمكن.

# الإنكماش و الزحف

# Shrinkage & Creep

# ١- الإنكماش Shrinkage

## التعريف

الانكماش هو خاصية من خواص الخرسانة التى تتصلد فى الهواء. ولايسبب الإنكماش مشاكل إلا إذا كان هناك قيداً على الحركة حيث يسبب إجهادات شد داخل الخرسانة مما يؤدى إلى تشرخها ويمكن التقليل من الآثار الضارة للإنكماش عن طريق:

أ - المعالجة الصحيحة والمبكرة للخرسانة Effective Curing

ب- عمل وصلات حركة Movement Joints

ج- وضع أسياخ تسليح لمقاومة الإنكماش Shrinkage Reinforcements

## أسباب حدوث الإنكماش

يحدث الانكماش فى الخرسانة نتيجة:

أ- هبوط الأجزاء الصلبة فى الخلطة وفقد الماء الحر من الخرسانة الطازجة مما يسبب ما يعرف بإسم الإنكماش اللدن.

ب- الإتحاد الكيميائى بين الأسمنت والماء يؤدى إلى حدوث الإنكماش الذاتى.

ج- جفاف الخرسانة نتيجة فقد الماء يسبب حدوث إنكماش الجفاف.

# أنواع الإنكماش

يوجد ثلاثة أنواع من الإنكماش هى:

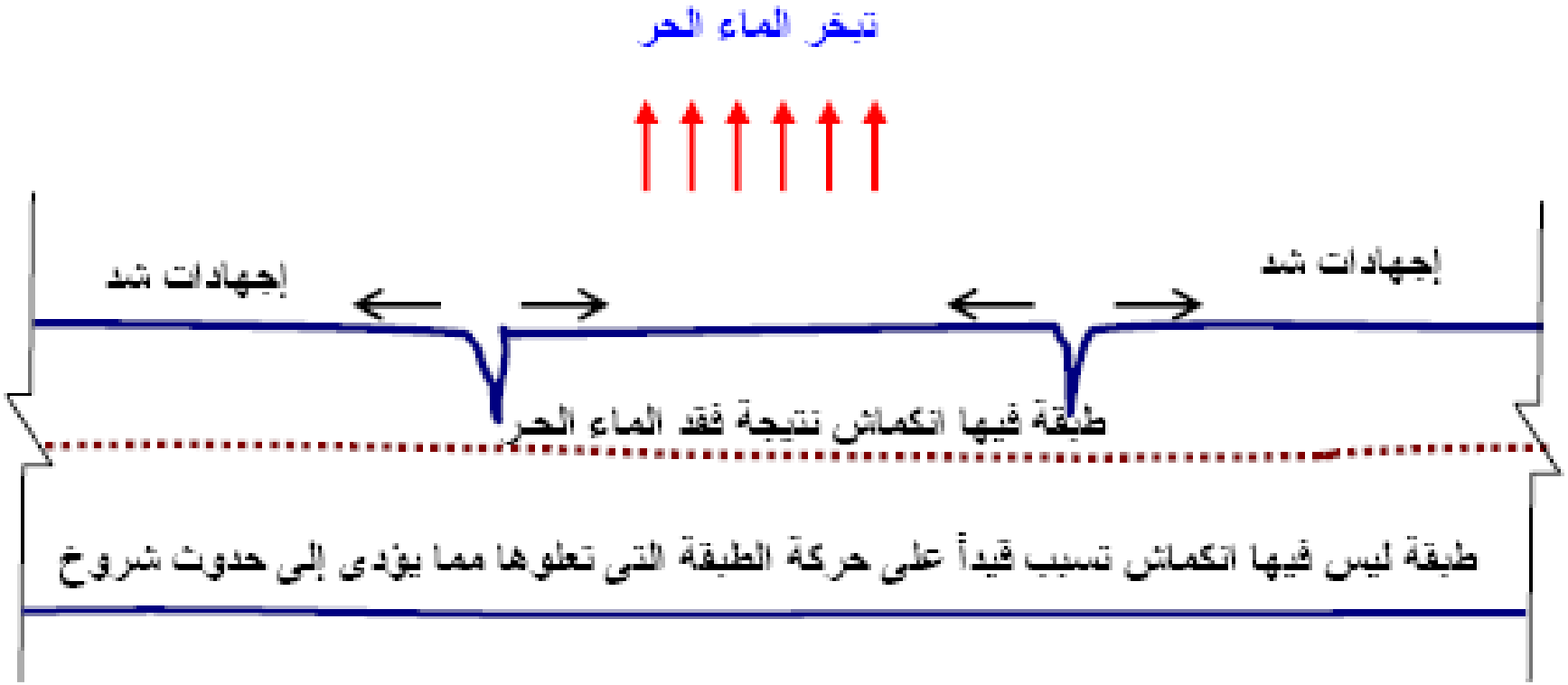
**أ- الانكماش اللدن Plastic Shrinkage**

**ب- الإنكماش الذاتى Autogenous Shrinkage**

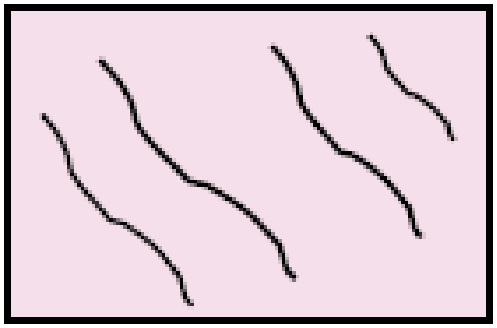
**ج- الإنكماش بالجفاف Drying Shrinkage**

# أولا: الإنكماش اللدن Plastic Shrinkage

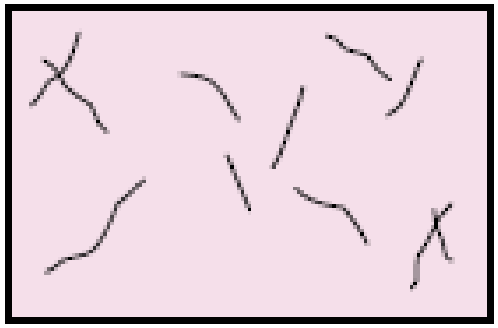
يحدث الانكماش اللدن قبل تصلد الخرسانة خلال بضعة ساعات من صب الخرسانة وسببه هو فقد الماء الحر من الخلطة وهبوط الأجزاء الصلبة (الركام) إلى أسفل مما يؤدى إلى صعود الماء إلى أعلى وتبخره. فعندما يكون معدل تبخر الماء من سطح الخرسانة أسرع من معدل الإدماء (نزوح الماء إلى سطح الخرسانة) يحدث الإنكماش اللدن كما بالشكل (١). ولذلك فإن الإنكماش اللدن يُلاحظ أكثر فى البلاطات والأعضاء الخرسانيه ذات المساحه السطحية الكبيرة المعرضة للجو الحار أو الرياح. ويؤدى هذا النوع من الإنكماش إلى حدوث شروخ سطحية بالخرسانة. ويمكن منع شروخ الإنكماش اللدن بتقليل الفاقد من الماء السطحى عن طريق المعالجة المبكرة والفعالة. وتشرخ الخرسانة اللدنة عادة يأخذ إحدى صور ثلاث كما فى شكل (٢).



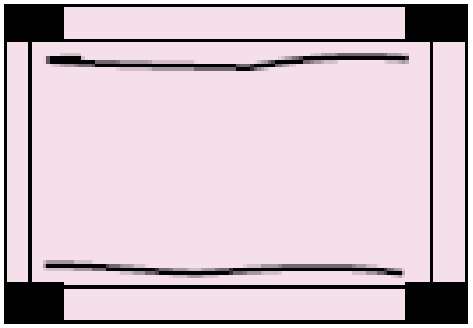

**شكل (١) ميكانيكية حدوث الإنكماش اللدن**



شروخ قطرية مائلة بالنسبة لحروف البلاطة وتكون المسافة بين هذه الشروخ من ٢٠ إلى ٢٠٠ سم.



شروخ موزعة توزيعاً غير منتظم ولا تصل إلى الحروف الحرة للبلاطة.



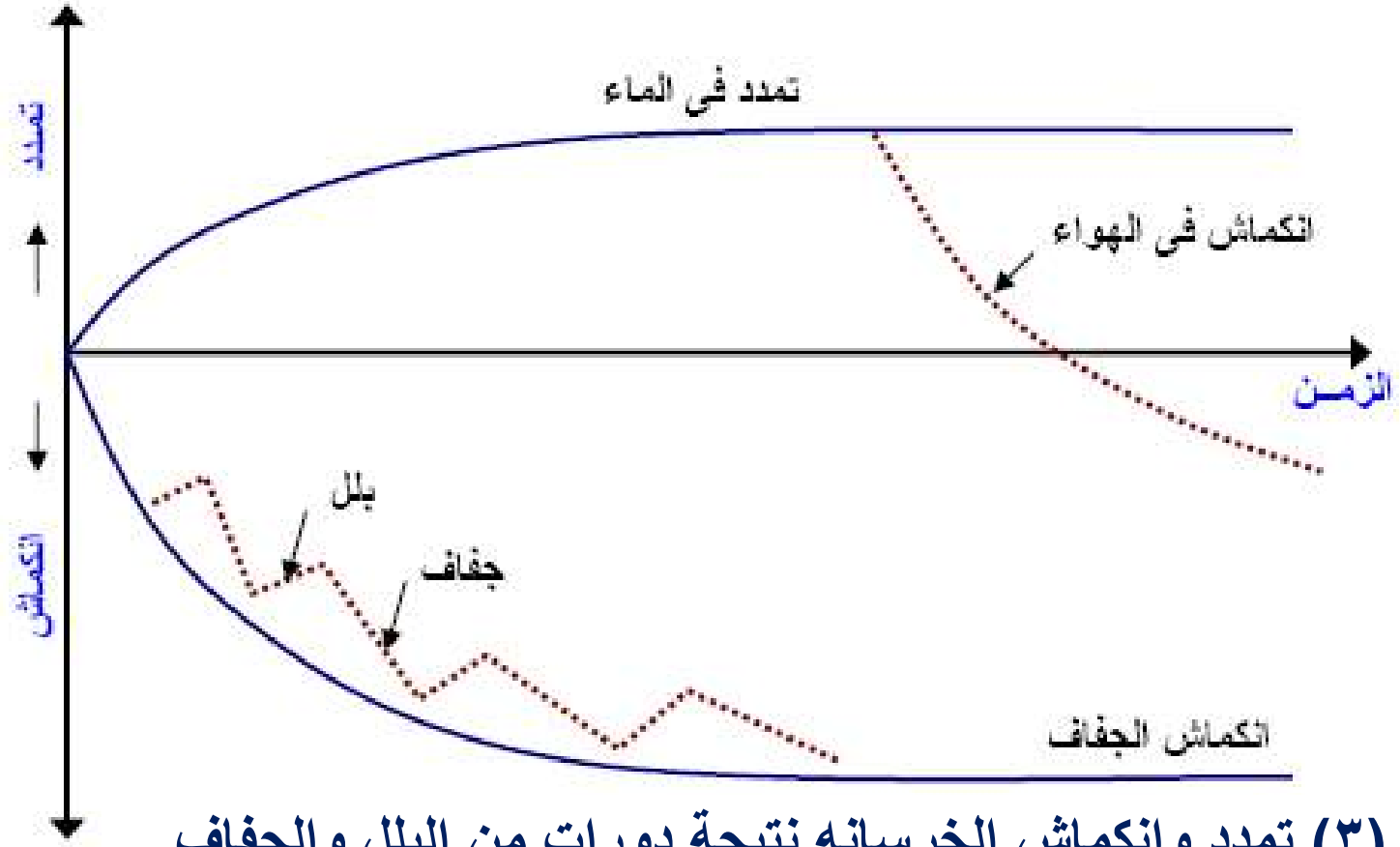
شروخ تتبع شكل توزيع حديد لتسليح أو التغير فى عمق القطاع الخرسانى.

**شكل (٢) أشكال الإنكماش اللدن**

# ثانيا: الإنكماش الذاتي Autogenous Shrinkage

عندما تبدأ عملية الإماهة Hydration بين الأسمنت والماء يحدث نقص فى حجم المونة لأن عندما تبدأ عملية الإماهة المونة المتصلدة حجمها أقل من مجموع حجمى الماء والأسمنت فى الخلطة مما يؤدى إلى إنكماش الخرسانة الداخلية وهو ما يعرف بالإنكماش الذاتى لأنه يحدث ذاتياً نتيجة الإتحاد الكيميائى بين الأسمنت والماء. أما إذا تمت معالجة الخرسانة تحت الماء فإن الماء الداخل فى التفاعل يتم إستعاضته من الماء الخارجى وتمتص العجينة الأسمنتية ماءً زائداً مما يؤدى إلى زيادة طفيفة فى حجم الخرسانة وليس إنكماشاً كما فى شكل (٣). أما الخرسانة التى تعالج فى الهواء أو تترك بدون معالجة فلايتم إستعاضة الماء الداخل فى التفاعل ولكن على العكس يُسحب الماء من العجينة المتصلدة ويحدث إنكماشاً إضافياً هو إنكماش الجفاف.

والإنكماش الذاتى يتأثر بعدة عوامل منها: التركيب الكيميائى للأسمنت ـ كمية الماء فى الخلطة ودرجة الحرارة وقد تصل قيمة الإنكماش الذاتى إلى ١٠٠x١٠-٦ (٠,١ مم لكل متر) ويحدث ٧٥% من فى الشهور الثلاثة الأولى من عمر الخرسانة.




**شكل (٣) تمدد وإنكماش الخرسانه نتيجة دورات من البلل والجفاف**

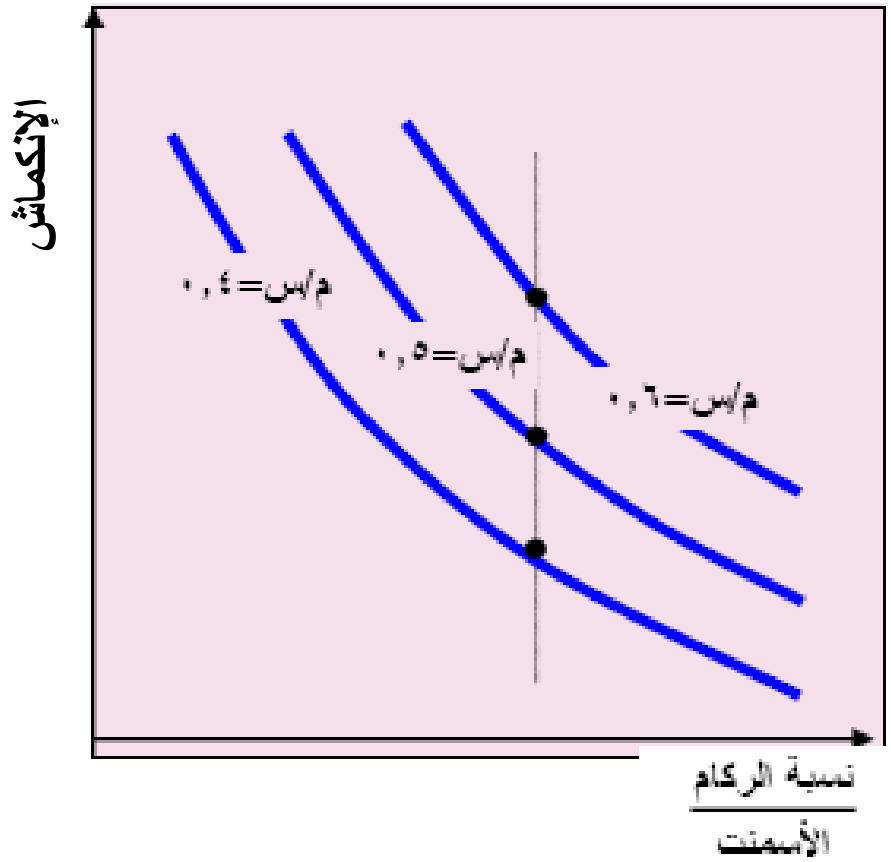
# ثالثا: إنكماش الجفاف Drying Shrinkage

عندما تتعرض الخرسانة المتصلدة - المعالجة فى الماء - للجفاف فإنها تفقد أولاً الماء الموجود فى الفجوات والشقوق الشعرية الداخلية ولا تبدأ فى الإنكماش إلا إذا إستمر الجفاف بحيث تفقد الماء الموجود بالعجينة المتصلدة ذاتها وهو ما يعرف بالإنكماش نتيجة الجفاف وقد تصل قيمة هذا الإنكماش إلى ١٥٠٠x١٠$^{-٦}$ ومن أهم وظائف الركام فى الخلطة تقليل إنكماش مونة الأسمنت. والإنكماش بالجفاف يبدأ بمعدلات عالية ويستمر لمدة طويلة ولكن بمعدل يتناقص بإستمرار. ويمكن إفتراض أن نصف الانكماش الكلى نتيجة الجفاف يحدث فى السنة الأولى.

# العوامل التي تؤثر على إنكماش الجفاف

## ١- مكونات الخلطه

بصفة عامة فإن الإنكماش يتناسب طردياً مع كمية الماء بالخلطة ويتناسب عكسياً مع كمية الركام بها كما بشكل (٤).




**شكل (٤) تأثير الماء والركام على الإنكماش**

**الماء:** يحدث الإنكماش نتيجة فقد الماء إلى الجو المحيط. فكلما كان هناك ماء أكثر متاح للتبخر كلما زادت إمكانية الإنكماش أثناء الجفاف.

**الأسمنت:** أهمية الأسمنت بالنسبة للإنكماش ترجع فقط إلى أن كميته ونعومته تؤثر على كمية الماء فى الخلطة.

**الركام:** كلما زادت كمية الركام كلما زاد تأثير الركام على تقليل الإنكماش لمونة الأسمنت. كذلك فإن إستعمال الركام ذى مساحة سطحية أقل ما يمكن يساعد على تقليل محتوى الماء فى الخلطة وبالتالى يعمل على تقليل الإنكماش.

## ٢- معالجة الخرسانه

تعمل معالجة الخرسانة على تقليل الفاقد الحرارى وبالتالى تقليل فروق الحرارة فى الأعضاء الخرسانيه الضخمة كما أنها فى نفس الوقت تقلل الفاقد من ماء الخرسانة وبالتالى تبطئ من معدل الإنكماش فى فترة المعالجة مما يقلل من إحتمالات التشرخ.

## ٣- حجم وشكل العضو الخرساني

حيث أن الجفاف (فقد الرطوبة) يكون من سطح العينة فإن ذلك يعنى أنه كلما زادت المساحة السطحية لكل وحدة كتلة كلما زاد معدل إنكماش العضو. فالعضو الخرساني الضخم السميك يستطيع الإحتفاظ بكمية من الماء أكبر من تلك التى تستطيع بلاطة رفيعة الإحتفاظ بها. وبالتالى يكون تأثير الإنكماش كبيراً وخطيراً فى حالة البلاطات وخاصة الرقيقة منها. ويمكن التعبير عن حجم العضو الخرسانى ومساحته السطحية بما يسمى بالبعد الإعتبارى للقطاع **B** الذى يقدر كما يلى:

$$B = 2A_c/P_c$$

حيث:

$B$ = البعد الإعتبارى للقطاع - مم

$A_c$ = مساحة المقطع الخرسانى - مم$^2$

$P_c$ = محيط المقطع الخرسانى المعرض للجفاف - مم

جدول (١) يوضح بعض القيم الإسترشادية لإنفعال إنكماش الجفاف وذلك فى حدود درجة رطوبة نسبية بين ٤٠ و ٨٥%.

**جدول (١) قيم إسترشاديه لإنفعال إنكماش الجفاف (مليمتر/متر)**

| حالة الجو | جو جاف (الرطوبة حوالى ٥٥%) | | | جو رطب (الرطوبة حوالى ٧٥%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| العمر المعتبر عنده الإنكماش | البعد الإعتبارى للقطاع B - مم | | | البعد الإعتبارى للقطاع B - مم | | |
| | B ≥ 600 | 600>B>200 | B ≤ 200 | B ≥ 600 | 600>B>200 | B ≤ 200 |
| ٣ - ٧ أيام | ٠,٣١ | ٠,٣٨ | ٠,٤٣ | ٠,٢١ | ٠,٢٣ | ٠,٢٦ |
| ٧ - ٦٠ يوم | ٠,٣٠ | ٠,٣١ | ٠,٣٢ | ٠,٢١ | ٠,٢٢ | ٠,٢٣ |
| أكثر من ٦٠ يوم | ٠,٢٨ | ٠,٢٥ | ٠,١٩ | ٠,٢٠ | ٠,١٩ | ٠,١٦ |

## ٤- درجة الحراره والرطوبه

كلما قلت نسبة الرطوبة كلما زاد معدل وكمية الفاقد من الماء إلى سطح الخرسانة مما يؤدى إلى زيادة الإنكماش ونفس التأثير يحدث عند زيادة درجة حرارة الجو.

## ٥- التسليح

تنكمش الخرسانة المسلحة بدرجة أقل من إنكماش الخرسانة العادية نظراً لأن صلب التسليح يسبب قيداً على الحركة. وعلى ذلك فوظيفة أسياخ الإنكماش ليست فقط مقاومة إجهادات الشد الناتجة من الإنكماش وإنما تقليل الإنكماش نفسه كذلك.

# إختبار التغير الحجمي للخرسانه بالجفاف والرطوبه
# Drying Shrinkage & Moisture Movement Tests

يجرى هذا الاختبار لتعيين قيمة التغير فى طول العينة الخرسانية نتيجة تعرضها للزيادة فى الحجم بتأثير الرطوبة أو للنقص فى الحجم بتأثير الإنكماش بالجفاف.

عينات الإختبار: تستخدم عينات منشورية بطول يتراوح من ١٥ إلى ٣٠سم ومقطع مستعرض حوالى ٥*٥سم أو ٧,٥*٧,٥سم ويثبت فى منتصف المقطع عند كل من النهايتين على محور العينة كرة من الصلب لإمكان إجراء عملية قياس الطول بدقة بين سطحى الكرتين.

# أولا: إختبار الإنكماش بالجفاف Drying Shrinkage

١- طريقة إجراء هذا الإختبار هى أنه بعد رفع العينة من الماء (سواء كانت تعالج فى الماء بعد صبها أو كانت موضوعة فى الماء للتشبع بعد قطعها من الخرسانة ناضجة التصلد) يقاس طولها مباشرة بين الكرتين الصلب المثبتتين فى نهايتى العينة وذلك بتركيب العينة فى الجهاز المبين بشكل (٥) حيث يبين الميكرومتر أو مقياس التشكل قيمة التغير فى الطول المقاس عن طريق طول قياس معلوم لقضيب إنفار Invar rod له طول مساو تقريبا لطول العينة وتكون دقة القياس لغاية ٠,٠٠٢٥ مم ثم يعين ذلك الطول الأولى الرطب للعينة $L_1$.

٢- تجفف العينة فى فرن درجة حرارته حوالى ٥٠ درجة مئوية وتكرر دورات التجفيف والتبريد وقياس الطول حتى تحصل على طول ثابت لا يتغير وتسجل القراءة النهائية $L_2$.

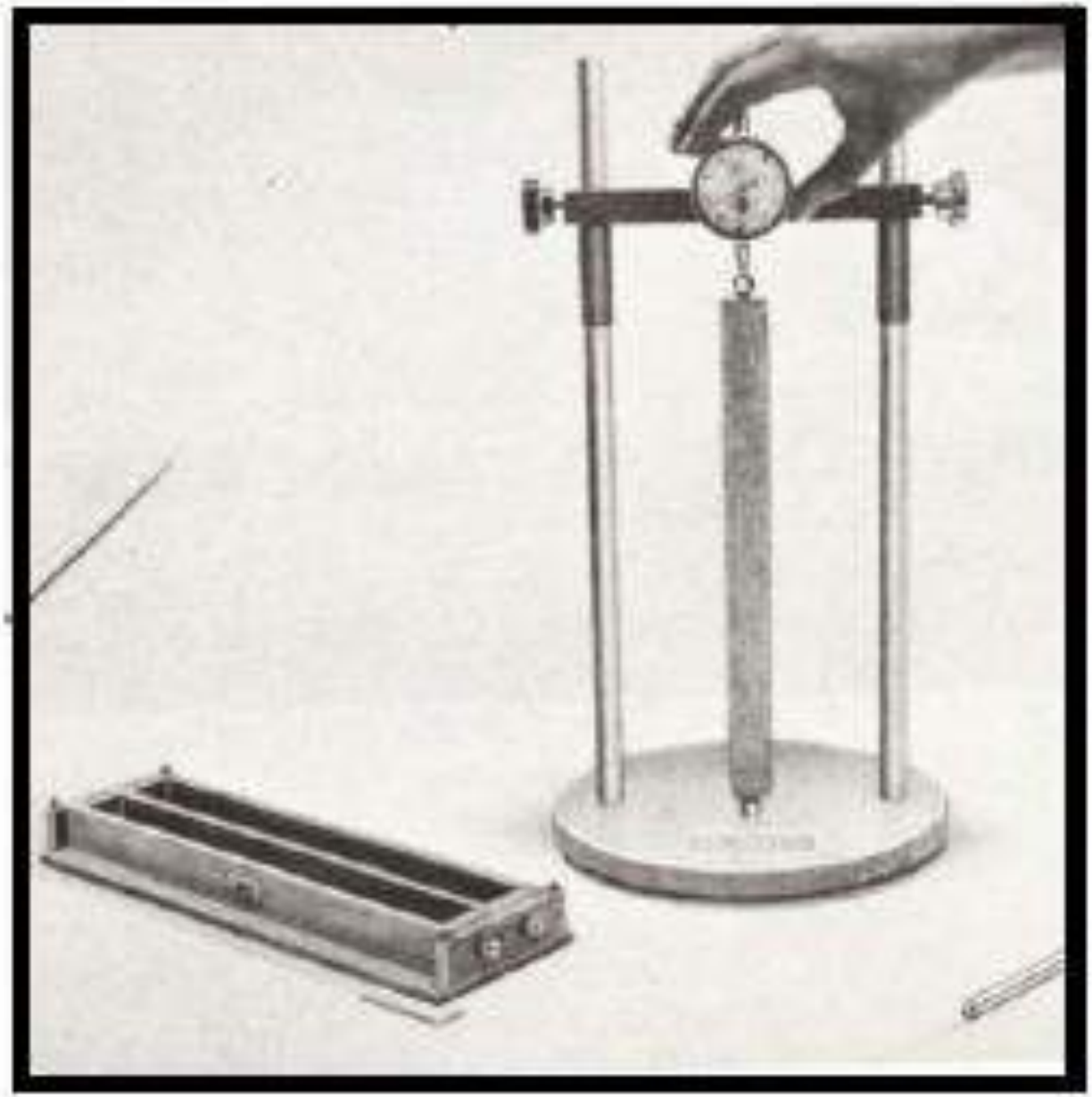
٣- يحسب انكماش الجفاف الأولى أو إنكماش الجفاف كنسبة مئوية كما يلى:

$$\text{Shrinkage } \% = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100$$

# ثانيا: إختبار التمدد بالرطوبه Moisture Movement

١- تجفف العينة الخرسانية بنفس طريقة إختبار الإنكماش السابق ذكرها ويعين طولها الجاف الثابت وليكن $L_3$. تغمر العينة فى ماء درجة حرارته من ١٥-٢٠ م° بشرط أن يكون أحد الأوجه الكبيرة للعينة ظاهر تماما فوق سطح الماء. تترك العينة مغمورة لمدة ٤ أيام وبعدها ترفع من الماء ويقاس الطول النهائى الرطب للعينة وليكن $L_4$ يحسب قيمة التحرك بالرطوبة كنسبة مئوية كما يلى:

$$\text{Moisture Movement } \% = \frac{L_4 - L_3}{L_3} \times 100$$

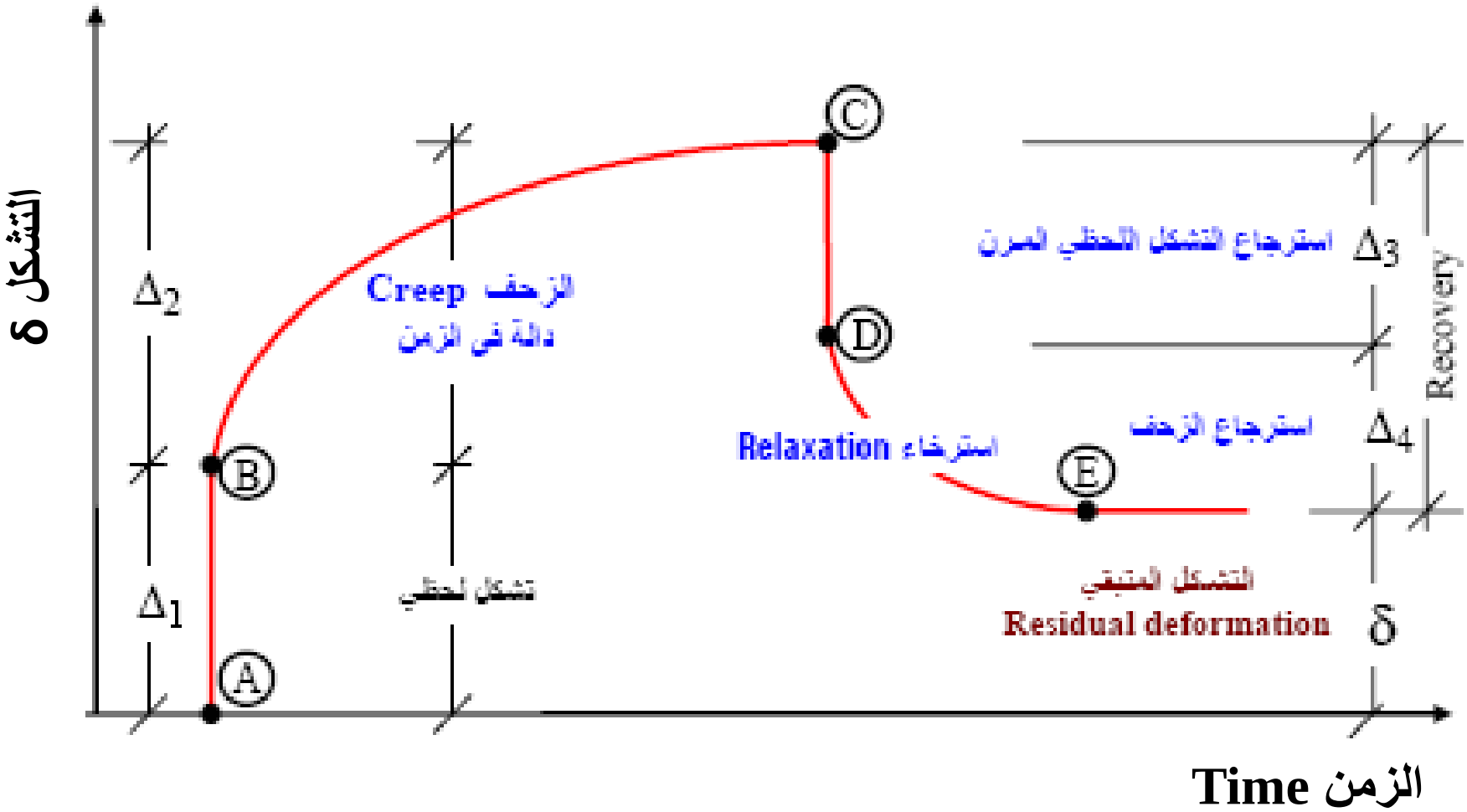


**شكل (٥) جهاز قياس التمدد والإنكماش**

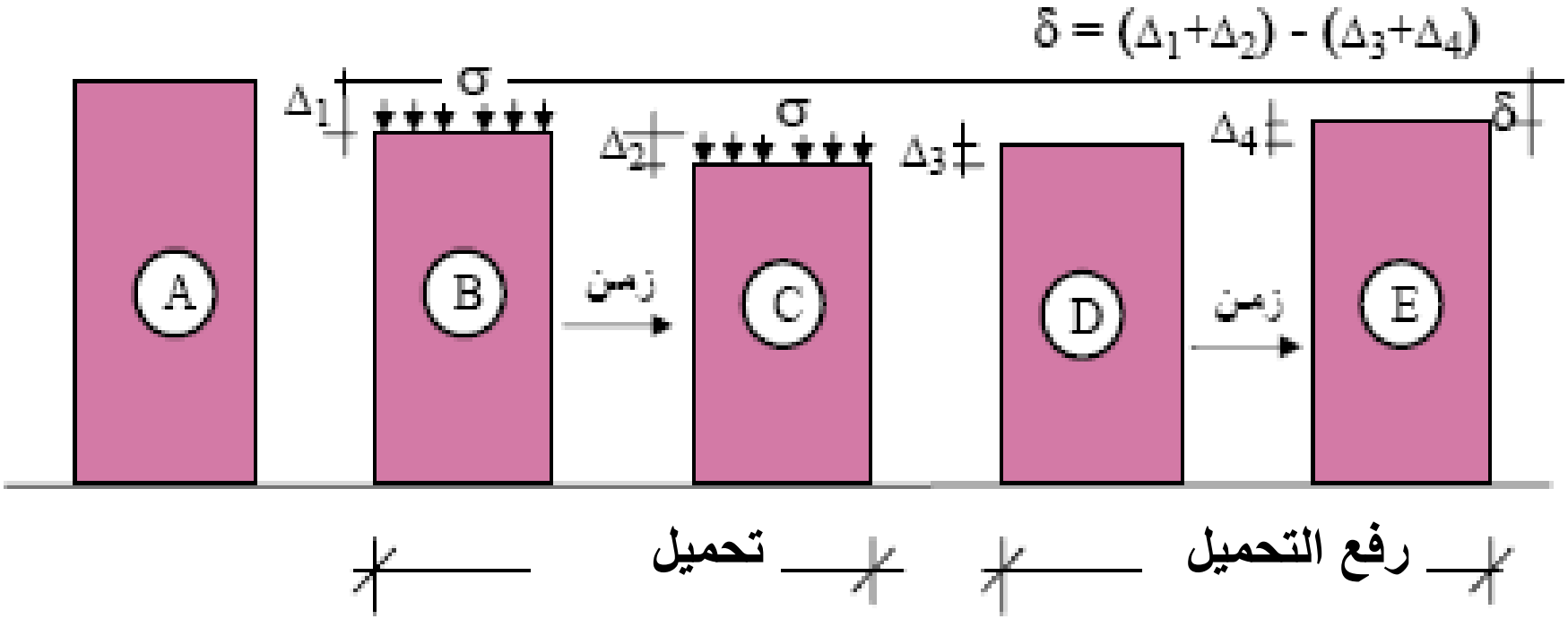
# ٢- الزحف Creep

## التعريف

هو الإنفعال غير المرن الذي يحدث مع مرور الزمن تحت تأثير إجهاد ثابت. أي أن الزحف يعتمد على الزمن Time-dependent وقد تصل قيمته إلى عدة أضعاف قيمة الإنفعالات اللحظيه التي تحدث نتيجة أحمال التشغيل. الشكل (٦) يبين ميكانيكية حدوث الزحف.




**شكل (٦) ميكانيكية حدوث الزحف**




**شكل (٦) ميكانيكية حدوث الزحف**

❑ وقيمة الإنفعال الناتج من الزحف للخرسانة تتراوح من ٥x١٠-٦ إلى ٢٠x١٠-٦ وذلك لكل ١ كج/سم٢ إجهاد. ويمكن أخذ قيمة متوسطة للزحف الكلى للخرسانة على أساس ٠,٠١ مم لكل متر لكل واحد كج/سم٢ إجهاد. أى أن عضواً طوله ١ متر إذا تعرض لإجهاد ثابت مقداره ٣٠٠ كج/سم٢ فإنه يحدث له تشكل مقداره ٣مم نتيجة الزحف. ومن العوامل التى تؤثر على قيمة الزحف نوع الأسمنت المستخدم ومقاومة الخرسانة ونسبة الماء إلى الأسمنت فى الخلطة وكذلك الوقت الذى تم فيه أول تحميل للخرسانة وخواص المقطع الخرسانى وقيمة الرطوبة النسبية للجو المحيط بالمنشأ. وبصفة عامة فإن قيمة الزحف تقل كلما زادت مقاومة الخرسانة، وقد وجد أن قيمة الزحف لخرسانة ذات مقاومة للضغط ٢٠٠ كج/سم٢ يقدر بحوالى ١٨x١٠-٦ لكل ١كج/سم٢ إجهاد، فى حين كانت قيمة الزحف المناظرة لخرسانة ذات مقاومة ٦٠٠ كج/سم٢ هى ٥x١٠-٦ فقط.

- يستمر الزحف مع الوقت فى الأعضاء المعرضة لأحمال ثابتة لسنوات عديدة ولكن معدل زيادة إنفعالات الزحف يقل حتى يصبح ضئيلا يمكن إهماله. وبالتقريب فإننا يمكننا أن نقول أن ربع قيمة الزحف الكلية تحدث فى أول شهر وأن نصف قيمة الزحف الكلية تحدث فى أول سنة. وأن قيمة الزحف بعد حوالى سبعة سنوات يزيد عن قيمة الزحف بعد عام بحوالى ٣٠% فقط. وتجدر الإشارة أن قيمة الزحف النهائى فى الشد تساوى تقريباً القيمة فى الضغط إلا أن معدل حدوث الزحف فى الشد يكون أسرع نسبياً من معدل حدوثه فى الضغط.

# حساب قيمة الزحف

- يمكن حساب القيمة الكلية للإنفعال الناتج عن أقصى زحف والإنفعال اللحظى المرن من المعادلة الآتية:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_o (1+ \varphi) = f_o (1+ \varphi) / E_c$$

**حيث:**

$\varepsilon_o$ = الإنفعال اللحظى المرن الناتج عن التحميل الأولى ويساوى $\mathbf{f_o / E_c}$

$\varepsilon_t$ = الإنفعال الكلى عند زمن t.

$\varphi$ = معامل الزحف.

$\varphi\ \varepsilon_o$ = إنفعال الزحف.

$f_o$ = إجهاد الخرسانة الإبتدائى عند التحميل.

$E_c$ = معاير مرونة الخرسانة عند عمر التحميل.

❑ وتؤخذ قيم معامل الزحف φ الإسترشادية من جدول (٢) وذلك بمعلومية الرطوبة النسبية للجو والبعد الإعتبارى للقطاع B والعمر عند بدء التحميل.

**جدول (٢) قيم إسترشاديه لمعامل الزحف φ**

| حالة الجو | جو جاف (الرطوبة حوالى ٥٥%) | | | جو رطب (الرطوبة حوالى ٧٥%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| العمر المعتبر عنده التحميل | البعد الإعتبارى للقطاع B - مم | | | البعد الإعتبارى للقطاع B - مم | | |
| | B ≥ 600 | 600>B>200 | B ≤ 200 | B ≥ 600 | 600>B>200 | B ≤ 200 |
| ٣ - ٧ أيام | ٢,٩٠ | ٣,٢٠ | ٣,٨٠ | ٢,١٠ | ٢,٤٠ | ٢,٧٠ |
| ٧ - ٦٠ يوم | ٢,٥٠ | ٢,٨٠ | ٣,٠٠ | ١,٩٠ | ٢,٠٠ | ٢,٢٠ |
| أكثر من ٦٠ يوم | ٢,٠٠ | ١,٩٠ | ١,٧٠ | ١,٧٠ | ١,٦٠ | ١,٤٠ |

# تأثير الزحف

لظاهرة الزحف فى الخرسانة تأثيرات ضارة وتأثيرات أخرى نافعة نوجزها فيما يلى:

## التأثير الضار:

١- يزيد من قيمة الترخيم (Deflection) فى بعض الحالات.
٢- يعمل على توسيع الشروخ التى تنشأ من عوامل أخرى.
٣- زيادة الإنفعالات نتيجة الزحف قد يؤدى إلى تشريخ الخرسانة.

ولكن بصفة عامة فإنه لا توجد حالات إنهيار نتيجة الزحف بمفرده ولكنه عامل مساعد على تصدع الخرسانة فى بعض الحالات.

## التأثير النافع:

يؤدى الزحف إلى تقليل الإجهادات التى يسببها إنفعال شد ثابت مع الوقت (مثل الإنكماش) وبالتالى يتولد عندنا إجهاد شد صافى هو الفرق بين الإجهاد الأصلى وتأثير الزحف. وهذه الظاهرة تعرف بالإسترخاء Relaxation. ومما هو معروف أن الشروخ لا تتكون إلا إذا زاد إجهاد الشد الصافى عن مقاومة الخرسانة للشد.

**مثال:**

ما هي قيمة انفعال الزحف في عمود خرساني مصبوب حديثا تم تحميله بإجهاد مقداره ٢٠٠ كج/سم$^{٢}$ وذلك عند عمر ٧ أيام إذا كان البعد الإعتباري **(B)** لقطاعه = ٨٥مم ومعاير مرونة الخرسانه بعد أسبوع = ١٨٠ طن/سم$^{٢}$. احسب كذلك الإنفعال الكلي الحادث في العمود.

**الحل:**

$f_o = 200\ Kg/cm^2$ $E_c = 180\ t/cm^2$

From Table, B = 85mm < 200mm & جو جاف ⟶ $\varphi = 3.8$

$$\varepsilon_o = f_o / Ec = 200/180000 = 1.11x10^{-3}$$

$$\varepsilon_{cr} = \varphi \cdot \varepsilon_o = (3.8)\ (1.11x10^{-3}) = 4.22x\ 10^{-3}$$

$$\varepsilon_t = \varepsilon_o + \varepsilon_{cr} = 1.11x10^{-3} + 4.22x\ 10^{-3} = 5.3^{3}x\ 10^{-3}$$

# أحمال الصدم

# *Impact Loading*

# مقدمه

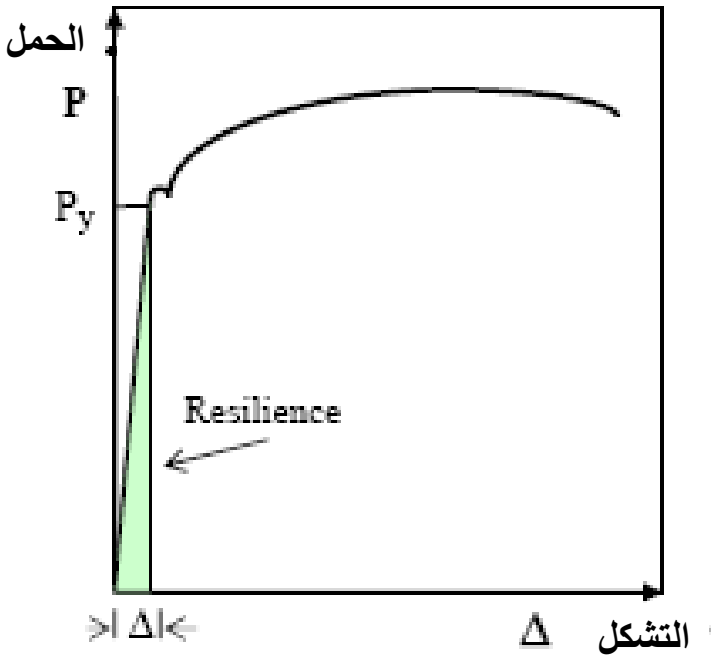
تؤثر أحمال الصدم على المنشآت بصور مختلفة وعديدة نذكر منها الأحمال المتحركة بسرعة مثل تلك المتولدة نتيجة مرور القطارات على الكبارى أو سقوط الأحمال من إرتفاعات مختلفة أو تأثير الأحمال فجائياً مثل الإنفجارات وهكذا. وعموماً فإن أحمال الصدم ينتج عنها إجهادات وإنفعالات كبيرة جداً إذا ما قورنت بنظيرتها الناتجة من تأثير نفس الأحمال ولكن بصورة إستاتيكية. فإذا وضعت مسماراً فى إتجاه رأسى مرتكزاً على لوح من الخشب ثم أمسكت مطرقة بحيث يرتكز ثقلها لفترة من الوقت على رأس المسمار فإن ذلك لايؤدى إلى إختراق المسمار للوح الخشبى حتى لو إستمر الثقل لعدة أيام مرتكزاً على المسمار. أما إذا طرقت بالمطرقة على رأس المسمار سوف تجد أنه ينغرس بسهولة داخل اللوح الخشبى. ويتوقف تأثير حمل الصدم على قيمة الطاقة التى تسبب حدوث التشكلات به ولذلك فإن البيانات المطلوبة فى مسائل التحميل بالصدم تستلزم ضرورة الإلمام بالكيفية التى يقاوم بها هذا التحميل.

- The assumption of calculating such maximum stress are:

1- The weights of the member and flange are neglected.
2- The stresses remains in the elastic range.
3- No energy losses during impact.

# Elastic Resilience الرجوعيه المرنه

الرجوعية المرنة هى أقصى طاقة يتحملها الجسم ثم يرجعها ثانية ويعود إلى أبعاده الأصلية عند إزالة التحميل أى أن هذه الطاقة تكون فى حدود المرونة فقط. وتؤخذ من منحنى الحمل والتشكل حيث تساوى مساحة المثلث الواقع تحت الخط المستقيم فى المنحنى بالشكل (١).




**شكل (١) الرجوعيه**

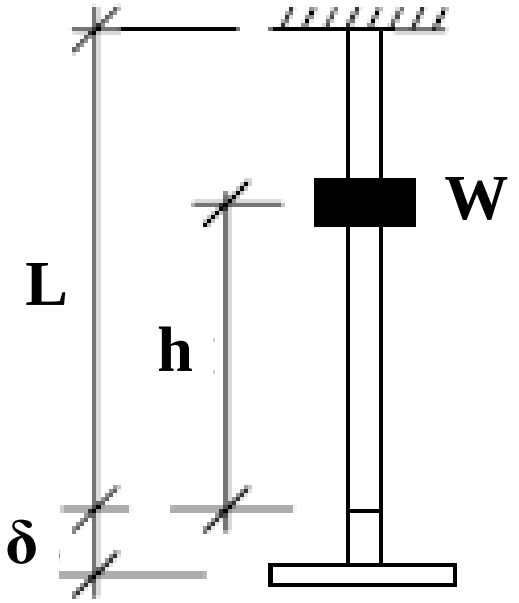
ويكون معاير الرجوعية المرنة Modulus of Elastic Resilience مساوياً لمقدار الرجوعية لوحدة الحجوم من العينة المختبرة. وتؤخذ من منحنى الإجهاد والأنفعال حيث تساوى مساحة المثلث الواقع تحت الخط المستقيم فى المنحنى.

$$\text{الرجوعيه} \leftarrow U = \tfrac{1}{2} P_{PL} \Delta$$

$$\text{معاير الرجوعيه} \leftarrow U/AL = \tfrac{1}{2} \sigma \varepsilon$$

# ١- إجهادات الشد أو الضغط الصدمي في حدود المرونة

إذا تعرض قطيب طولة "**L**" ومساحة مقطعة "**A**" كما فى شكل (٢) إلى حمل شد محورى ديناميكى له طاقة قيمتها "**U**" فإنة يحدث له استطالة قيمته **δ**. فإذا كانت **P** هى الحمل الاستاتيكى المكافئ (أى الحمل الذى يُحدث إستاتيكياُ نفس الإستطالة التى يُحدثها حمل الصدم) فإن:




**شكل (٢) الأحمال الساقطه**

**الطاقه الداخليه = الطاقه الخارجيه**

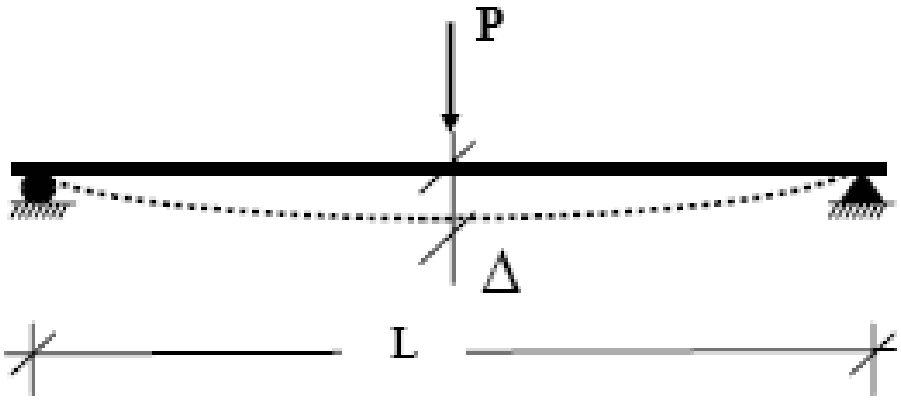
$$U = \text{الرجوعيه}$$

$$W(h+\delta) = \tfrac{1}{2} P.\delta$$

# ٢- إجهادات الإنحناء الصدمي في حدود المرونة

إذا تعرض كمره بسيطه Simple Beam مساحة مقطعها **"A"** وبحرها **"L"** كما فى الشكل إلى حمل طاقه يؤثر في منتصف البحر يتسبب عنه سهم إنحناء في منتصف الكمره مقداره **"δ"**.

فإذا كانت **P** هى الحمل الاستاتيكى المكافئ (أى الحمل الذى يُحدث سهم إنحناء يساوي **δ** ايضا فإن:




**شكل (٢) حالة كمره مرتكزه إرتكازا بسيطا**

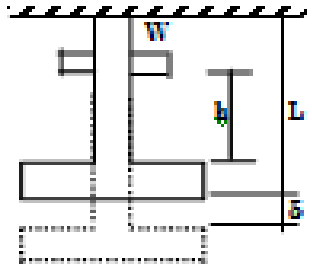
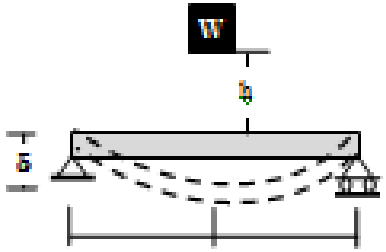
$$\sigma = M.Y/I = PLY/4I$$

$$\delta = PL^3/48EI$$

**الطاقه الداخليه = الطاقه الخارجيه**

**الرجوعيه**

$$U = \tfrac{1}{2} P.\delta$$

| | | Axial Impact (Tension) | Bending Impact |
|---|---|---|---|
| | |   |   |
| Static stress($\sigma_{st}$) | | $\frac{P}{A_o}$ | $\frac{M.Y}{I}$ |
| Static deformation ($\delta_{st}$) | | $\frac{PL_o}{EA_o}$ | $\frac{PL^3}{48EI}$ |
| Energy (U) | | $\frac{\sigma^2 (A_oL_o)}{2E}$ | $\frac{\sigma^2 (A_oL_o)}{6E}\left(\frac{I}{A_oy^2}\right)$ |
| Impact factor | For impact | $1+\sqrt{1+\left(\frac{2h}{\delta_{st}}\right)}$ | |
| | For sudden load | h = 0 Impact factor = 2 $\sigma_d = 2\sigma_{st}$ | |
| | For gradually applied load | Impact factor = 1 | |
| Dynamic stress($\sigma_d$) | | $\sigma_d = \sigma_{st}$ x Impact factor | |
| Dynamic deformation ($\delta_d$) | | $\delta_d = \delta_{st}$ x Impact factor | |
| Dynamic strain ($\varepsilon_d$) | | $\varepsilon_d = \sigma_d / E$ | |

## ملاحظات هامة:

$\frac{I}{A_o y^2}$ = $^1/_4$ for circular cross section & $^1/_3$ for square or rectangular

# Standard Impact Tests إختبارات الصدم القياسيه

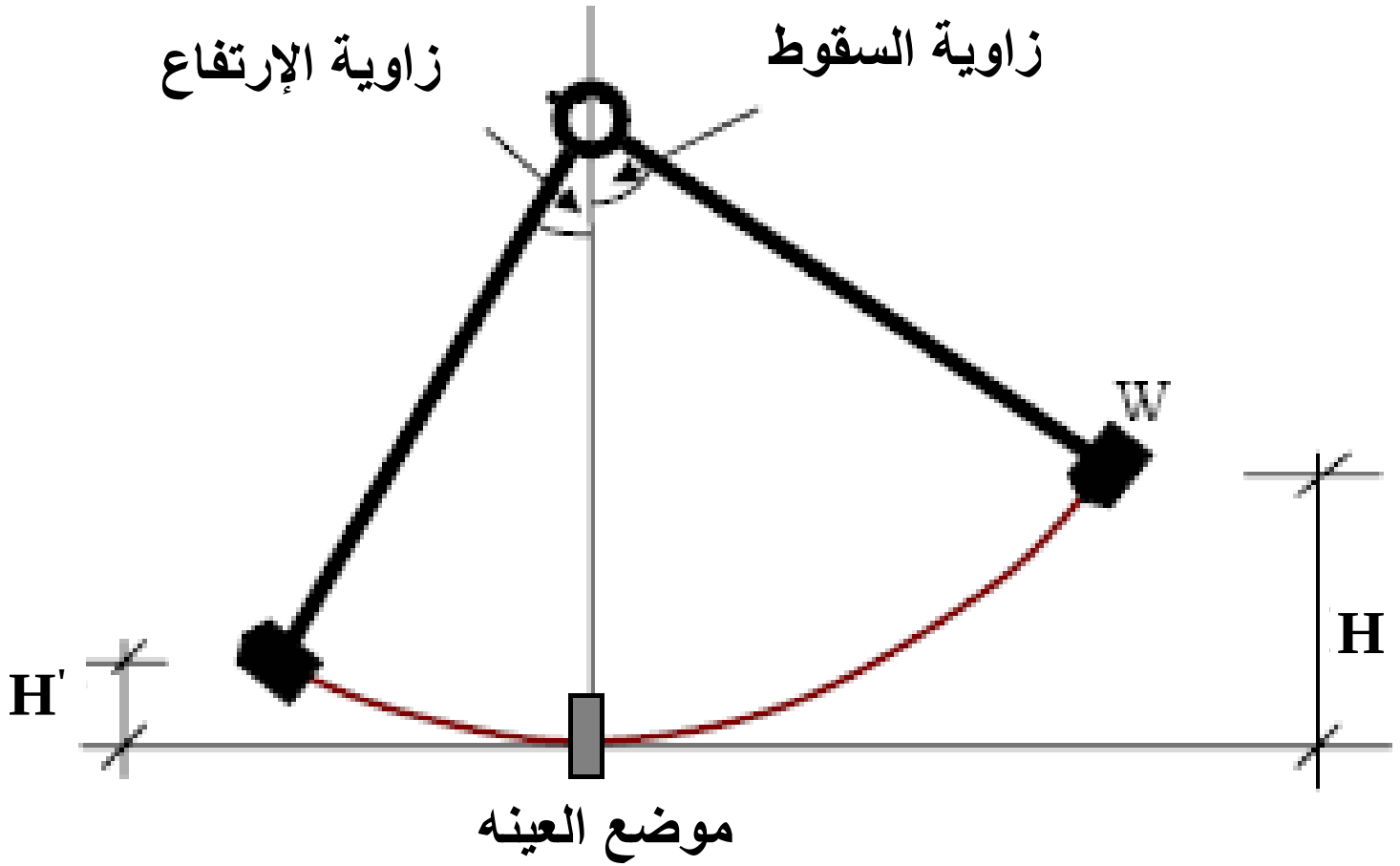
## الغرض من الإختبار

دراسة مقاومة المعادن لقوى الصدم ومقارنة تلك المقاومة لعينات إختبار من مواد مختلفة. وتعتبر الطاقة التى تكسر العينات المختبرة هى أساس لمقارنة المواد بعضها البعض من وجهة تحملها لقوى الصدم.

## فكرة الإختبار

يعتبر إختبارى أيزود **"Izod"** وتشاربى **"Charpy"** هما الإختباران الأساسيان فى الصدم وفيهما يؤثر حمل الصدم **W** على العينة من ثقل متأرجح من إرتفاع **H** فيكون مساره دائرة.

وعند إصطدامه بالعينة المحزوزة يصعد إلى إرتفاع آخر **H'**. فتكون الطاقة المستعملة فى كسر العينة = **W (H-'H)** كج.متر أو باوند.قدم




الفكره العامه لإختبار الصدم

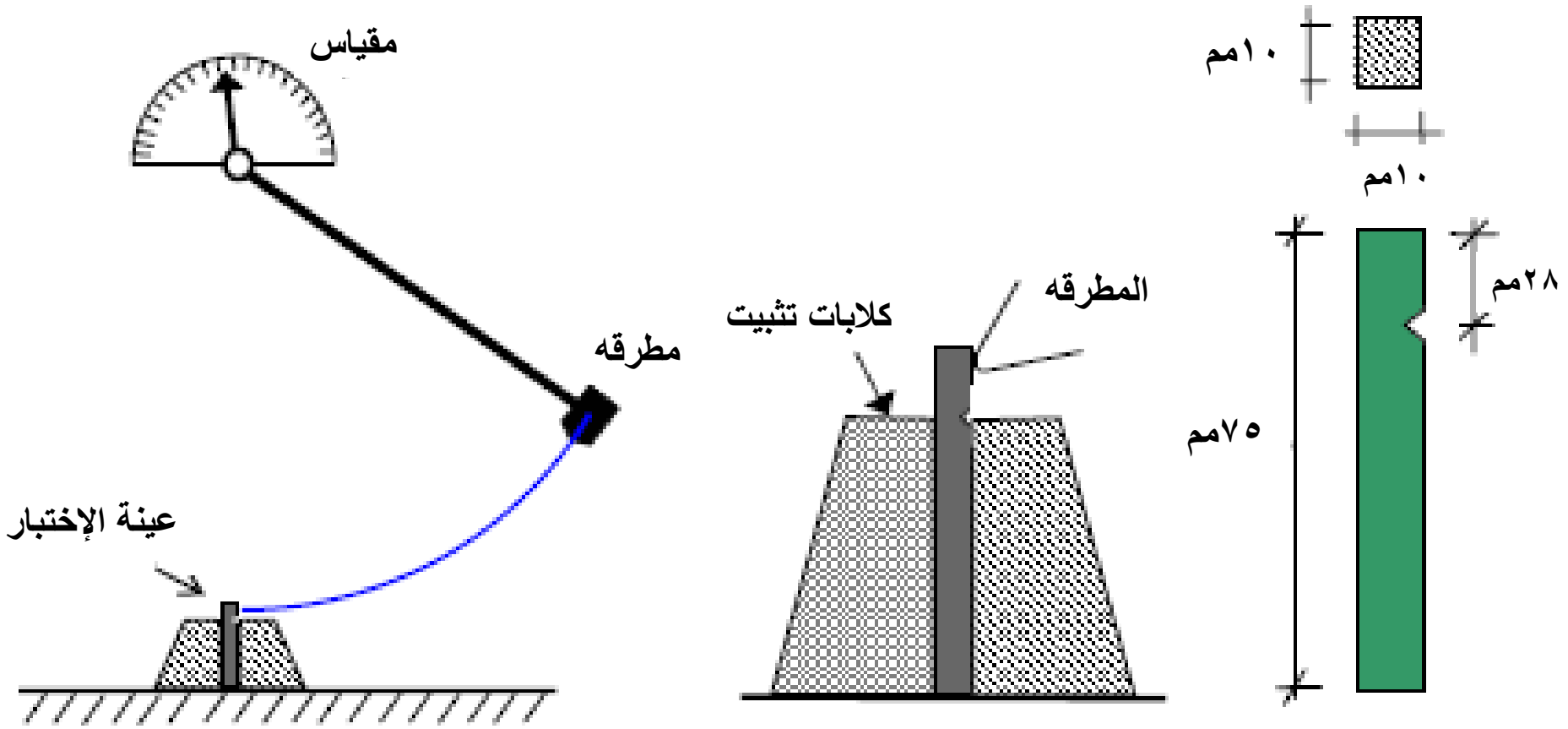
## ❑ إختبار أيزود Izod

**قطعة الإختبار:** تكون ذات مقطع مربع الشكل ١٠مم ×١٠مم أو مستديره بقطر ١١,٤مم (مساحتها تقريبا ١٠٠مم$^{٢}$).

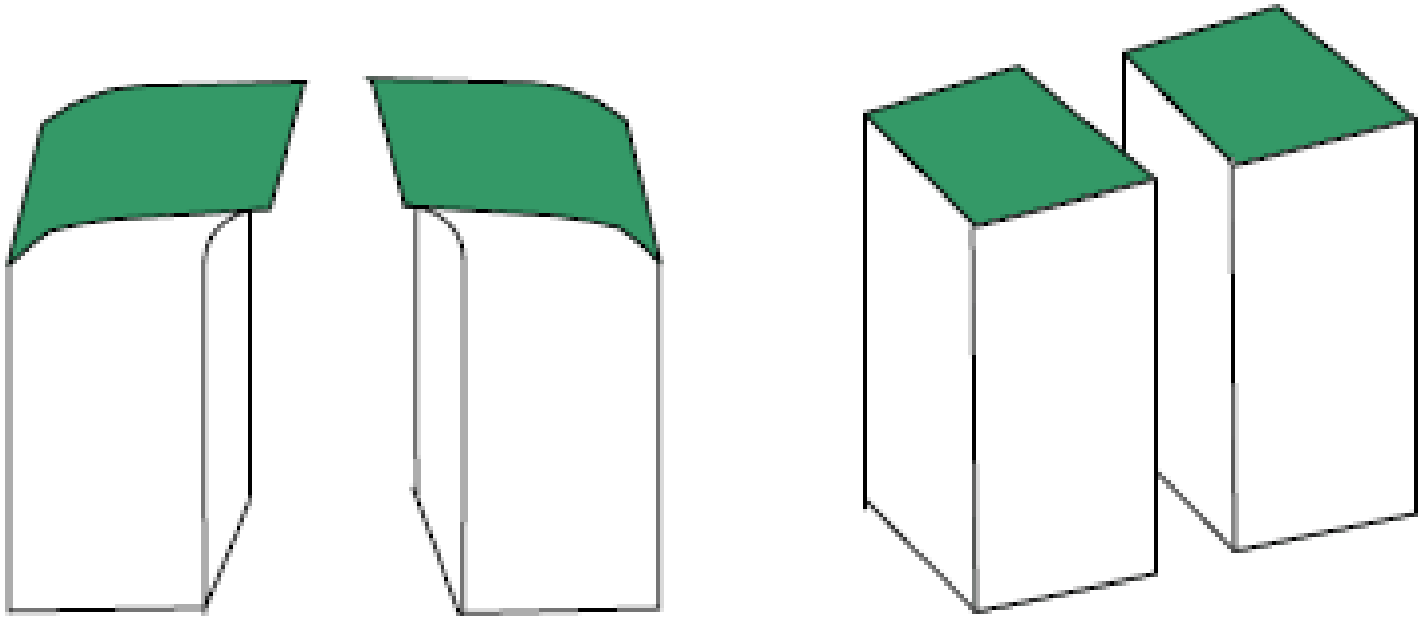
**تثبيت العينة:** تثبت رأسيا ثم تعرض لصدمة واحدة تؤثر عند موضع محدد على العينة المحزوزة. وتثبت بحيث يكون قاع الحز فى مستوى السطح العلوى لكلابات التثبيت كما بشكل (٣).

**طريقة إجراء الإختبار:**

تثبت قطعة الإختبار فى الوضع الصحيح فى ماكينة الإختبار مع مراعاة أن يكون المحور الطولى لقطعة الإختبار فى مستوى تأرجح مركز ثقل المطرقة وأن يكون مستوى تماثل الحز فى نفس مستوى الوجه العلوى للكلابات. وتعد الماكينة للإختبار بضبط مؤشرها على التدريج المقابل للموضع الإبتدائى للمطرقة. ثم يطلق البندول حرا ليتأرجح فتصدم مطرقتة قطعة الإختبار وتكسرها أو تثنيها ويمر متأرجحا إلى الجهة الأخرى من قطعة الإختبار حتى تصل المطرقة إلى الوضع النهائى وحينئذ تدل القراءة التى يبينها المؤشر لهذا الوضع على مقدار الطاقة التى بذلت فى ثنى أو كسر قطعة الإختبار. ويلاحظ أن المعدن القصيف تنكسر عينته تماماً بدون حدوث إنثناء أو تشوهات عند الكسر أما المعدن المطيل فتنكسر عينته مع حدوث إنثناء مصاحب للكسر كما فى شكل (٤).




شكل (٤) إختبار الصدم بطريقة أيزود

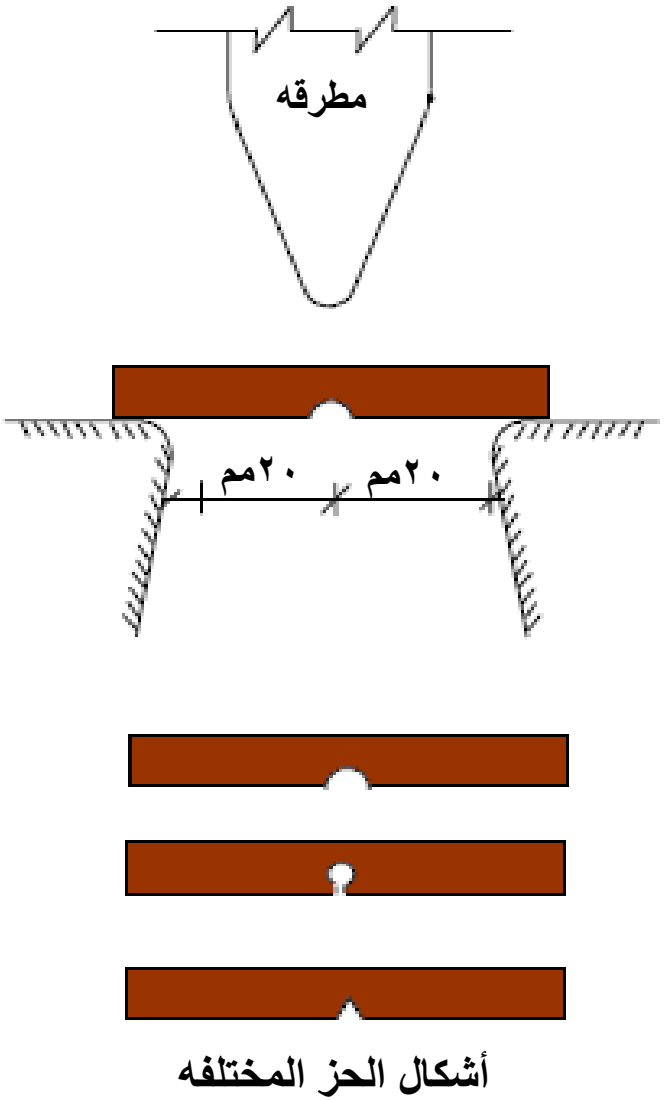


ماده قصفه (لا يحدث بها تشوهات)　　ماده مطيله (يحدث بها تشوهات)

شكل (٤) شكل الكسر في المعادن القصفه والمعادن المطيله

# ❑ إختبار تشاربي Charpy

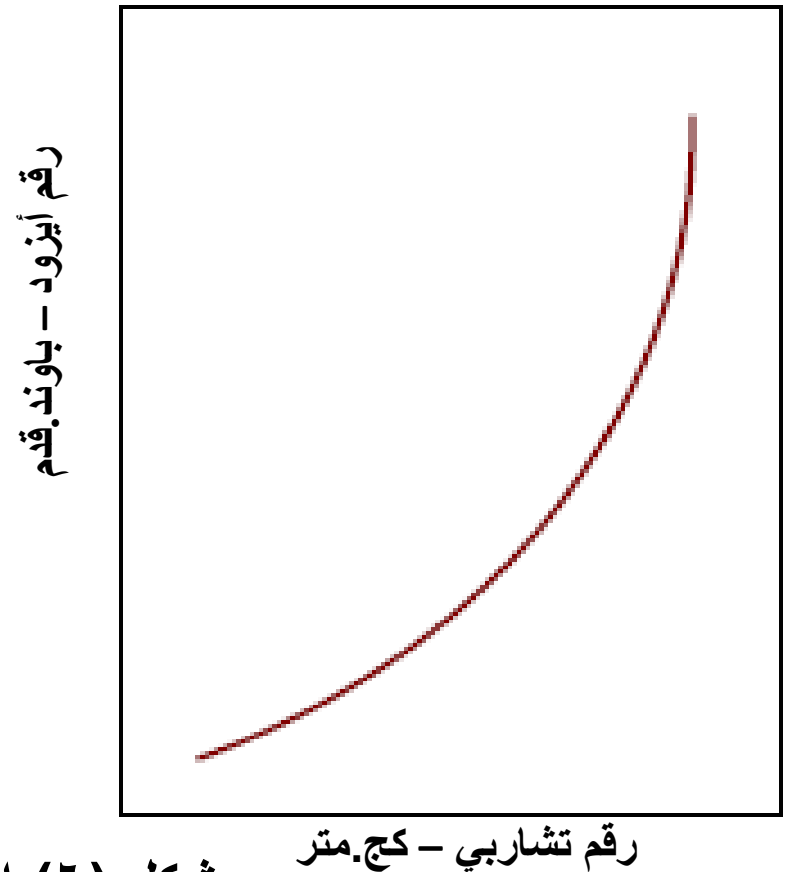
قطعة الإختبار وطريقة التحميل كما بشكل (٥)




**شكل (٥) عينة الإختبار بطريقة تشاربي**

وتجدر الإشارة إلى أن هناك علاقة بين رقمى تشاربى وأيزود للصدم توضحها العلاقة الآتية وكذلك شكل (٦):

$$\text{رقم تشاربي للصدم (كج.متر)} = \frac{\text{رقم أيزود (باوند.قدم)} + ١٠}{٤,٥}$$




**شكل (٦) العلاقه بين رقمي أيزود وتشاربي**

- **Why test specimen is notched:**

والهدف من الحز في قطعة الإختبار هو:

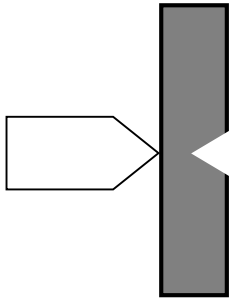
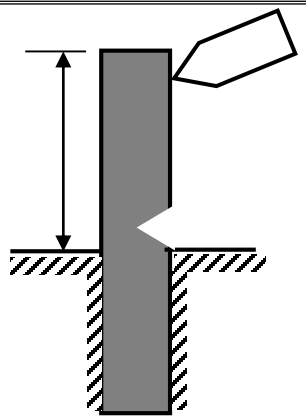
١ـ تقليل مساحة المقطع.
٢ـ ضمان تركز الإحهادات وحساب الإجهادات القصوى.
٣ـ تحتاج طاقة صغيرة للماكينة.

عمل notch للعينة يعمل على وجود منطقة تركيز اجهادات عند notch فيحدث امتصاص وتجميع لمعظم طاقة الكسر في منطقة notch ويمكن كسر العينة من ضربة واحدة

- **Why Charpy test is preferred to Izod test:**

لماذا يفضل اختبار Charpy على اختبار Izod

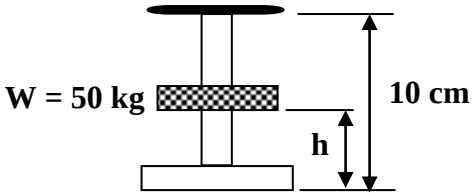
- تحميل العينة فى وضع Simple beam اسهل من وضع Cantilever
- لا تتعرض منطقة notch لتركيز اجهادات بسبب التثبيت.

| Charpy test | Izod test | |
|---|---|---|
|  |  | ماكينة الاختبار |
| 10 x 10 x 55 mm | 10 x 10 x 75 mm | ابعاد العينة |
| Simple beam | Cantilever | وضع التحميل |
| فى عكس اتجاه notch | فى نفس اتجاه notch | اتجاه الضربة |

# Solved Sheet (Impact test)

**(1) A 50 kg weight slides without friction down a steel rod that has a cross sectional – area of 1.5 cm$^2$, as shown in a figure. Determine the maximum stress, the maximum strain, and impact factor when:**

**a) h = 0  b) h = 30 cm  c) h = 60 cm  ($E_{steel}$ = 21000 kg/mm$^2$)**




W = 50 kg  L = 100 mm  A = 1.5 cm$^2$ = 150 mm$^2$  E = 21000 kg/mm$^2$

$$\sigma_{st} = \frac{W}{A} = \frac{50}{150} = 0.33 \text{ kg/mm}^2$$

$$\delta_{st} = \frac{W\,L}{E\,A} = \frac{50 \times 100}{150 \times 21000} = 0.0016 \text{ mm}$$

a) h = 0 (sudden load)

**Impact factor** = 2

$\sigma_d = \sigma_{st}$ **x Impact factor** = 0.66 kg/mm$^2$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{0.66}{21000} = 3.2 \times 10^{-5}$$

a) h = 30 cm

$$\textbf{Impact factor} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{st}}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \times 300}{0.0016}} = 613$$

$\sigma_d = \sigma_{st}$ **x Impact factor** = 0.33 x 613 = 202.3 kg/mm$^2$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{202.3}{21000} = 9.6 \times 10^{-3}$$

a) h = 60 cm

$$\textbf{Impact factor} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{st}}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \times 600}{0.0016}} = 867$$

$\sigma_d = \sigma_{st}$ **x Impact factor** = 0.33 x 867 = 286.1 kg/mm$^2$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{286.1}{21000} = 0.014$$

**(2) A weight of 100 N falls freely through ½ m and then impacts axially on the end of a bar of 18 mm diameter and 1.5 m length. Find the maximum stress and strain induced in the bar. E = 208 GN/m$^2$**

---

W = 0.1 KN  L = 1.5 m  h = 0.5 m  E = 208 x $10^6$ KN/m$^2$

$$A = (\pi/4)\,(0.018)^2 = 2.5 \times 10^{-4}\ m^2$$

$$\sigma_{st} = \frac{W}{A} = \frac{0.1}{2.5 \times 10^{-4}} = 400\ KN/m^2$$

$$\delta_{st} = \frac{W\,L}{E\,A} = \frac{0.1 \times 1.5}{208 \times 10^6 \times 2.5 \times 10^{-4}} = 2.9 \times 10^{-6}\ m$$

$$\textbf{Impact factor} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{st}}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \times 0.5}{2.9 \times 10^{-6}}} = 588$$

$$\sigma_d = \sigma_{st} \times \textbf{Impact factor} = 400 \times 588 = 235200\ KN/m^2$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{235200}{208 \times 10^6} = 1.13 \times 10^{-3}$$

**(3) Show that with elastic conditions a simply supported rectangular beam, when loaded with an energy load concentrated at the middle of the span has an efficiency of only 11.1% as compared with similar volume subjected to a tensile axial load. If the beam has a circular section instead of a rectangular one, what is the efficiency as compared with direct stress application?**

---

$$U_{Tension} = \frac{\sigma^2 (AL)}{2E}$$

$$U_{Bending} = \frac{\sigma^2 (AL)}{6E} \times \frac{I}{AY^2}$$

$$\frac{U_{Bending}}{U_{Tension}} = \frac{\sigma^2 (AL)}{6E} \times \frac{I}{AY^2} \times \frac{2E}{\sigma^2 (AL)} = \frac{I}{3AY^2}$$

Rectangular section

$$\frac{U_{Bending}}{U_{Tension}} = \frac{I}{3AY^2} = \frac{b h^3 \times 4}{12 \times 3 \times bh \times h^2} = \frac{1}{9} = 11.1\%$$

Circular section

$$\frac{U_{Bending}}{U_{Tension}} = \frac{I}{3AY^2} = \frac{\pi D^4 \times 4 \times 4}{64 \times 3 \times \pi D^2 \times D^2} = \frac{1}{12} = 8.33\ \%$$

**(4) A simply supported steel beam was subjected to impact load at the mid span. What is the elastic impact energy, if the cross-section of the beam was 20x20 mm; the span of the beam = 90 cm, yield stress = 20 kg/mm$^2$ and the modulus of elasticity = 20000 kg/mm$^2$.**
**What is the value of this energy if the cross section was circular with diameter of 15.9 mm?**
**What is the impact energy if the loading was impact tension?**

---

A = 20x20 = 400 mm$^2$ L = 90 cm = 900 mm $\sigma$ = 20 kg/mm$^2$ E = 20000 kg/mm$^2$

$$\mathbf{U = \frac{\sigma^2 (AL)}{6\,E} \times \frac{I}{A\,Y^2}}$$

$$\mathbf{U = \frac{(20)^2\,(400 \times 900)}{6 \times 20000} \times \frac{1}{3}} = 400 \text{ kg/mm}^2$$

For circular cross-section $A = (\pi/4)\,(15.9)^2 = 199$ mm$^2$

$$\mathbf{U = \frac{(20)^2\,(199 \times 900)}{6 \times 20000} \times \frac{1}{4}} = 149 \text{ kg/mm}^2$$

For impact tension

$$\mathbf{U = \frac{\sigma^2 (AL)}{2\,E}}$$

$$\mathbf{U = \frac{(20)^2\,(400 \times 900)}{2 \times 20000}} = 3600 \text{ kg/mm}^2$$

# الكلال (التعب)
# Fatigue

## مقدمه

الكلال هو الإنهيار المفاجئ (Sudden Failure) للعناصر الإنشائية المعرضة لأحمال متكررة (Repeated Loads) أثناء التشغيل بعد عديد من دورات التحميل (Cycles).

المنشآت التي تتعرض لأحمال Fatigue

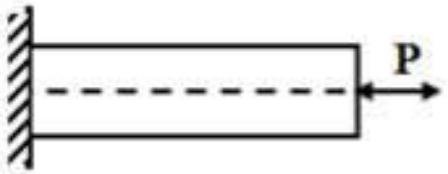
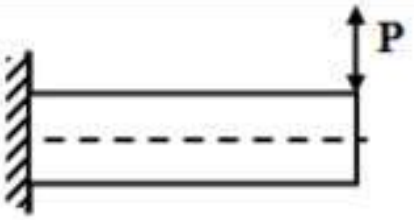
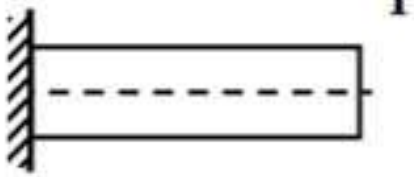
١- معدات حفر التربة ٢- اجنحة الطائرات ٣- قاطرات السكك الحديدية

## مراحل الانهيار بسبب Fatigue :

1- Point defect 2- Small cracks 3- Stress concentration

4- Crack propagation نمو الشرخ 5- Sudden failure

# Types of fatigue loading:

| Axial load | Bending | Torsion |
|---|---|---|
|   |   |   |
| $\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A}$ | $\sigma_{max} = \frac{M_{max}\ Y}{I}$ | $\sigma_{max} = \frac{T_{max}\ r}{J}$ |
| $\sigma_{min} = \frac{P_{min}}{A}$ | $\sigma_{min} = \frac{M_{min}\ Y}{I}$ | $\sigma_{min} = \frac{T_{min}\ r}{J}$ |

وموضوع الكلال ذو أهمية قصوى فى المجال الهندسى إذ يلزم للمنشآت الهندسية أن توفى الإشتراطات الثلاثة الآتية :

١- تؤدى عملها المطلوب Function

٢- تؤدى عملها بتكاليف معتدلة Cost

٣- أن يكون لها مدة تشغيل مناسبة Service Life

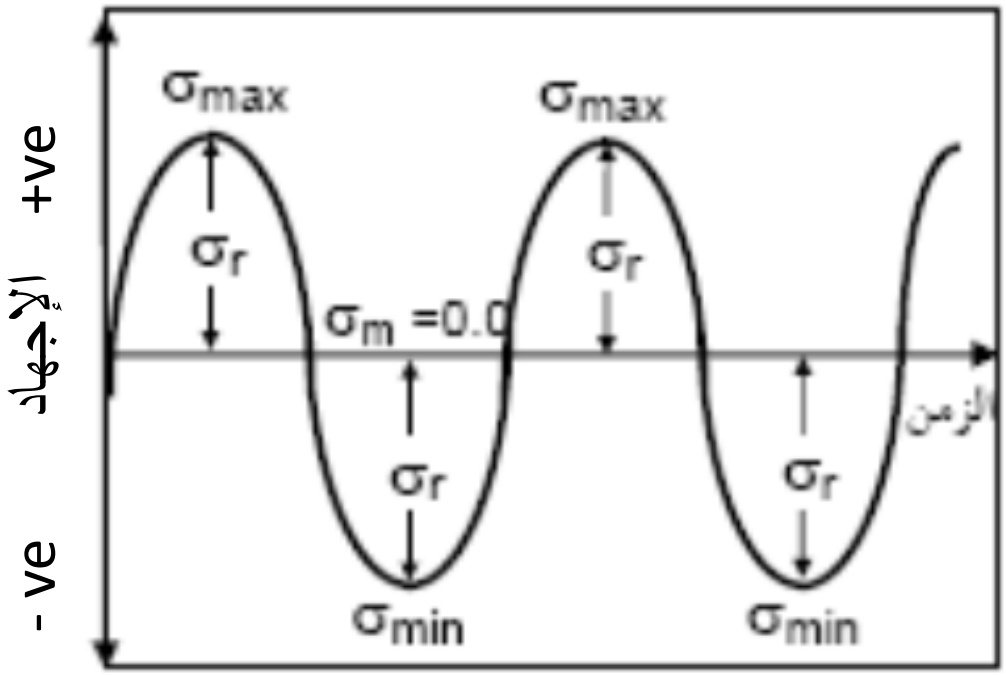
وغالبا فإن الذى يراعى عند التصميم هما الشرطين الأولين أما الشرط الثالث وهو مدة التشغيل المناسبة فيراعى بطرق تقريبية لأن معظم مهندسى التصميم ليسوا على درجة كافية من الدراية بفن التشغيل مع الزمن. ويعتبر التحميل المتكرر ذو أهمية كبيرة فى المجالات الهندسية إذ قد تتحمل المادة إجهاداً معيناً إذا كان التحميل إستاتيكياً ، بينما تنهار المادة بتأثير نفس الحمل إذا كان تكرارياً. كذلك فإن الإجهاد الأقصى المتكرر الذى تتحمله المادة دون حدوث الإنهيار هو أقل من الإجهاد الأقصى فى حالة التحميل الإستاتيكى لمرة واحدة. وفى حالة الأحمال المتكررة تتوقف خواص مقاومة المادة على مقدار الإجهادات المتكررة ونوعها وعلى عدد مرات تكرارها. والإجهادات المتكررة تؤدى إلى نتائج خطيرة فى المواد المعرضة لها. وتمثل الكسور بسبب الإجهادات المتكررة حوالى ٩٠% من أسباب الإنهيار فى أجزاء الآلات. وهذا النوع من الإجهادات يسبب الإنهيار على الرغم من أنه أقل من إجهاد حد المرونة. كذلك فإنه لايحدث فى المادة قبل إنهيارها نفس الظواهر العادية التى تحدث فى حالة التحميل الإستاتيكى مثل الخضوع أو التشكل اللدن ويكون الكسر من النوع القصف بينما المادة أصلاً مادة معدنية مطيلة ولذلك فإن الكسر يقع بصورة فجائية دون إنذار.

## الأحمال المتكرره Repeated Loads

الحمل المتكرر هو الحمل الذى يسبب إجهاداً يتكرر عدد من الدورات ويأخذ إحدى الصور الموضحة فى الشكل (١) وهي:

### ١ - دوره معكوسه كليا

وفيها يتغير الإجهاد من قيمة قصوى فى الشد إلى قيمة قصوى فى الضغط.




$$\sigma_{max} = -\sigma_{Min} = \sigma_r$$

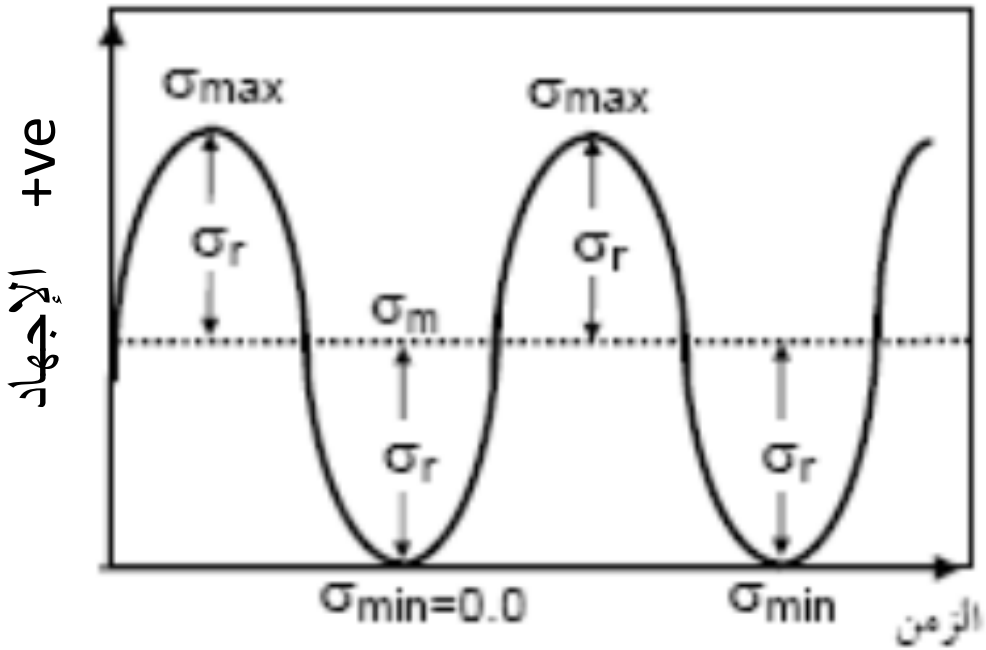
$$\sigma_m = 0.0$$

## 2- دوره نابضه بين $\sigma_{max}$ ، صفر

وفيها يتغير الإجهاد من قيمة قصوى فى الشد أو الضغط إلى الصفر.

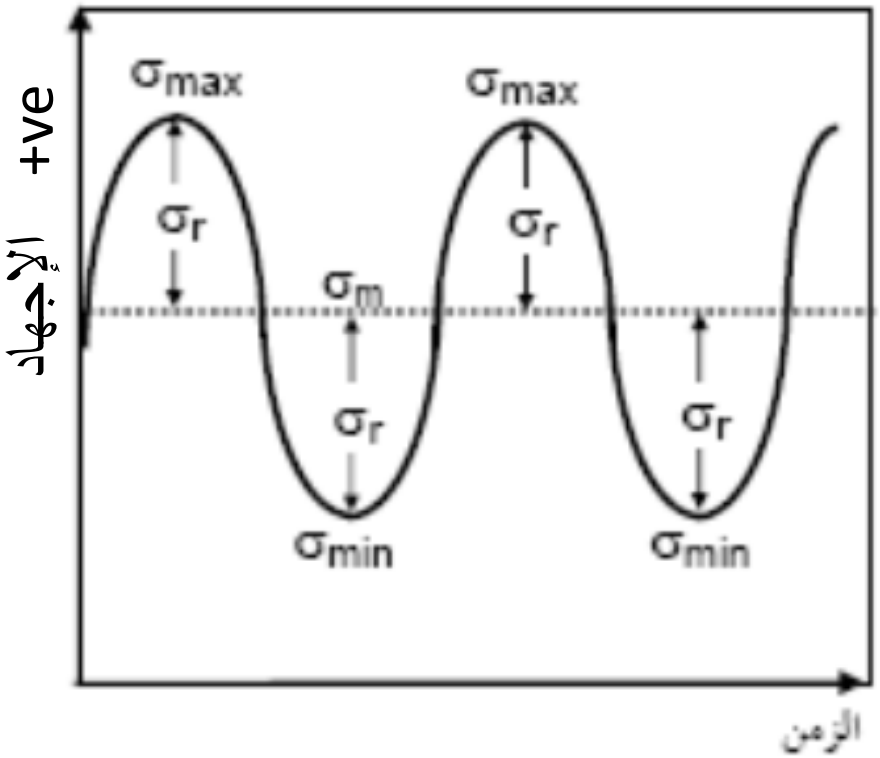
$$\sigma_m = \sigma_{max}/2, = \sigma_{min} = 0.0$$

$$\sigma_r = \sigma_m$$



## 3- دوره نابضه بين قيمتين $\sigma_{max}$ ، $\sigma_{min}$

وفيها يتغير الإجهاد من قيمة قصوى فى الشد أو فى الضغط إلى قيمة أقل ولكنها أعلى من الصفر.




**شكل (١) دورات التحميل المختلفه**

$$\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2$$

$$\sigma_r = \sigma_{max} - \sigma_m = \sigma_m - \sigma_{min}$$

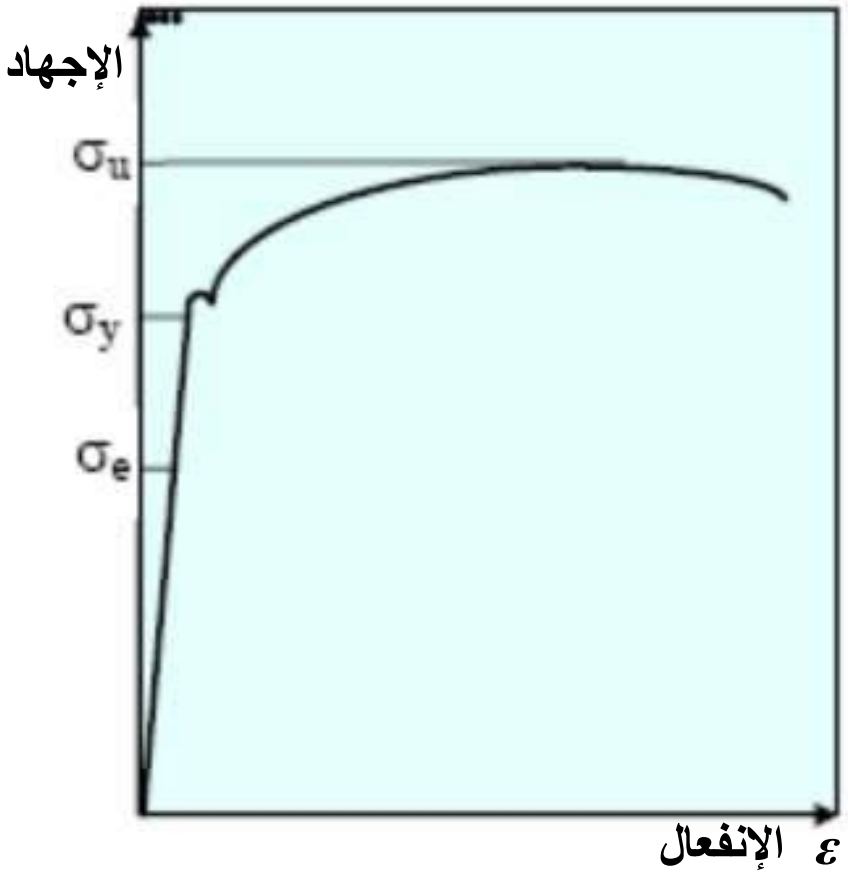
إذن فالإجهاد المتكرر عبارة عن إجهاد ثابت $\sigma_m$ مضاف اليه إجهاد متغير $\sigma_r$

## إجهاد حد الإحتمال Endurance Limit Stress

إجهاد حد الإحتمال أو حد الصمود $\sigma_e$ هو أقصى إجهاد ذو مدى محدود ومعكوس كلياً يؤثر على المعدن بحيث يمكن أن يحدث معه عدد لانهائى من دورات التحميل بأحمال متكررة دون حدوث الإنهيار ويحدد معملياً.

وينبغى هنا أن نفرق بين خواص المعدن الداخلية (المقاومة) وبين الإجهادات الناشئة عن الأحمال الخارجية. فالخواص الميكانيكية للمعدن "الخواص الداخلية" هى $\sigma_e$ , $\sigma_y$ , $\sigma_u$ كما في الشكل (٢) وهى التى تقسم على عامل الأمان. أما $\sigma_r$ , $\sigma_{min}$, $\sigma_{max}$ , $\sigma_m$ فهى الإجهادات المؤثرة نتيجة الأحمال الخارجية ولاتقسم على عامل الأمان.

ويلاحظ أنه فى حالة التحميل الإستاتيكى فإن إجهاد التصميم هو إجهاد الخضوع $\sigma_y$ أما فى حالة إذا كانت الدورة معكوسة كليا فإن الإجهاد الأقصى والأدنى هو $\sigma_e$ أما فى حالة الإجهادات المتكررة والمتراوحة فإننا نحسب قيمة $\sigma_{min}$, $\sigma_{max}$ من بيانى سميث أو غيره بحيث لا تزيد أى منهما عن $\sigma_y$.




**شكل (٢) منحنى الإجهاد والإنفعال للحديد.**

## تعيين إجهاد حد الإحتمال معمليا Endurance Limit Stress

حد الإحتمال هو أقصى إجهاد ذو مدى محدود ومعكوس كلياً يؤثر على المعدن بحيث يمكن أن يحدث معه عدد لانهائى من دورات التحميل بأحمال متكررة دون حدوث الإنهيار ويمكن تحديده معملياً كالتالي.

## اختبار منحنى الإجهاد وعدد الدورات S-N diagram

ويجرى هذا الإختبار على عدد من العينات المتشابهة والتى يناسب شكلها مكنة الإختبار ويتم كالآتى:

١- تعرض العينة الأولى لإجهاد متكرر كبير وتعين عدد الدورات التى تكسرها.

٢- تعرض العينة الثانية لإجهاد متكرر أقل من إجهاد العينة الأولى ويعين عدد الدورات التى تكسرها والذى يكون أكبر من العدد الذى كسر العينه الأولى.

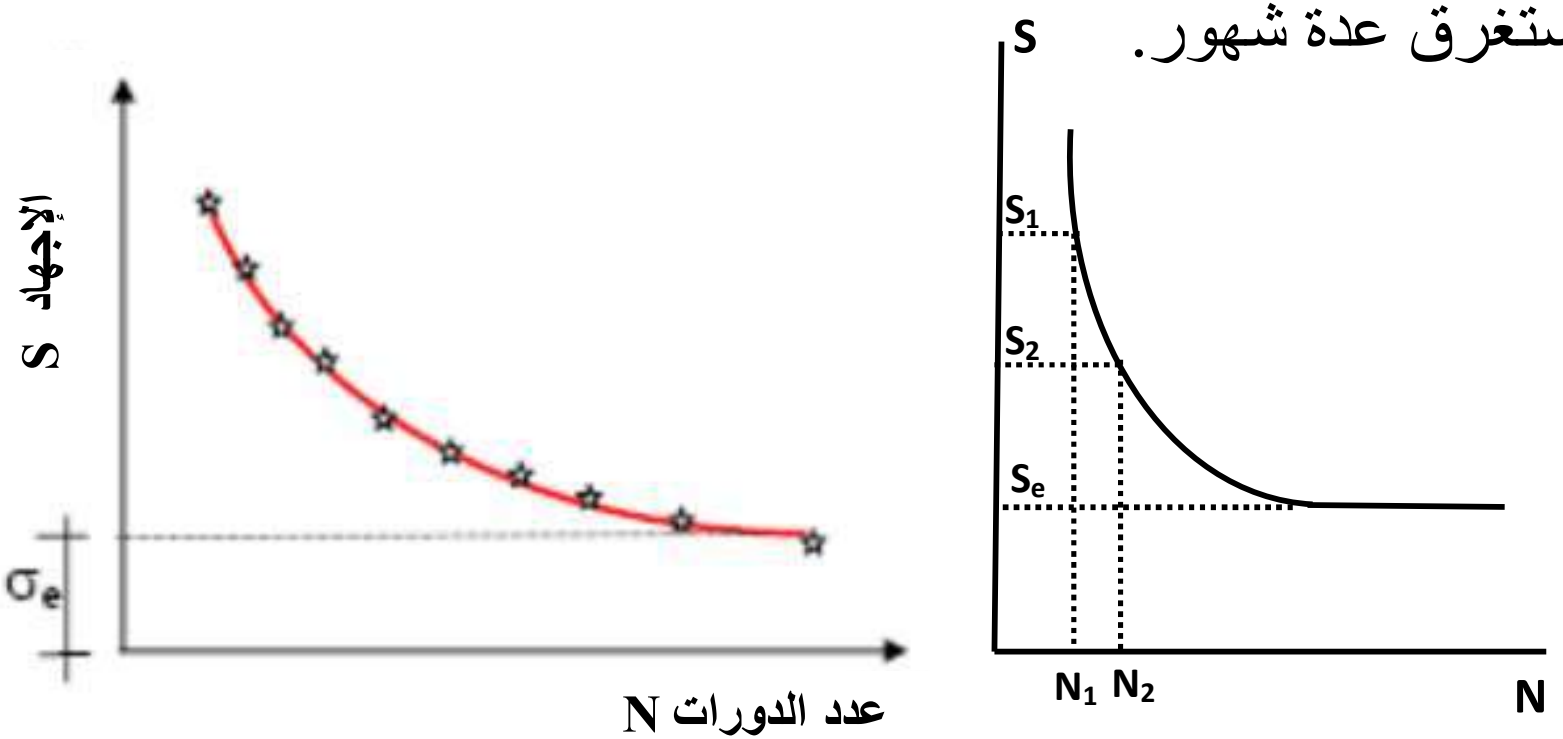
٣- يُكرر نفس العمل مع باقى العينات الأخرى وفى كل مرة يقلل قيمة الإجهاد المتكرر وتُعين عدد الدورات اللازمة لكسر العينة

٤- تُرسم العلاقة بين الإجهاد S وعدد الدورات N كما بالشكل (٣) ويعين حد الإحتمال.

**من عيوب هذا الإختبار**

أ - يحتاج إلى عدد كبير من العينات.

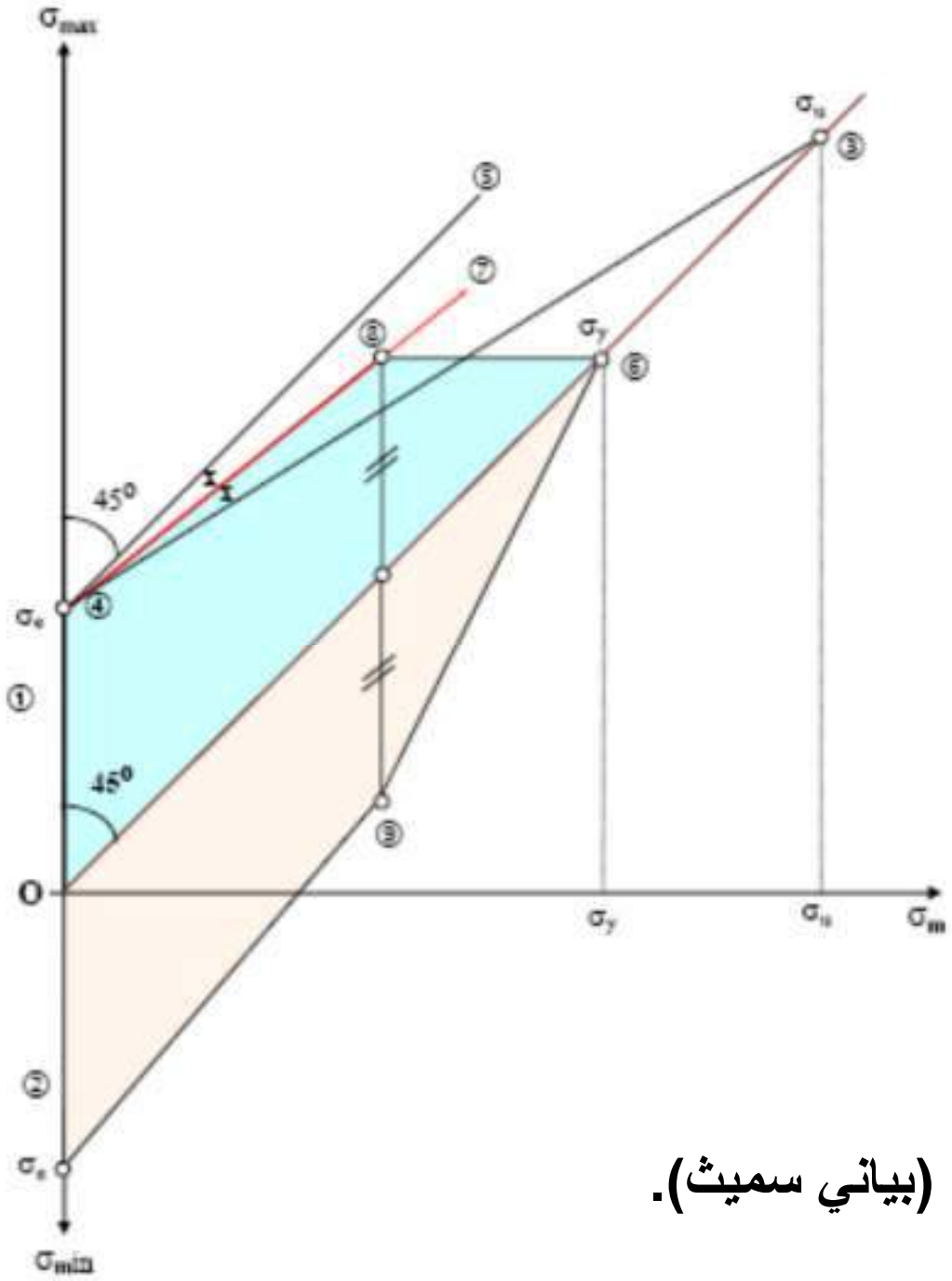
ب- كل عينة تحتاج إلى وقت كبير لإحداث الإنهيار بها مما قد يجعل هذا الإختبار يستغرق عدة شهور.




**شكل (٣) منحنى الإجهاد وعدد الدورات.**

# بياني سميث Smith Diagram

بيانى سميث كما فى شكل (٤) يوضح العلاقة بين الإجهاد الأقصى **($\sigma_{max}$)** والإجهاد الأدنى **($\sigma_{min}$)** وبين الإجهاد المتوسط **($\sigma_m$)** لأى دورة من دورات التحميل المتكرر ويطلق عليه ايضاً منحنى ***مقاومة الكلال***. الإحداثى الرأسى يمثل قيمتى $\sigma_{max}$ , $\sigma_{min}$ أما الإحداثى الأفقى فيمثل قيمة الإجهاد المتوسط **($\sigma_m$)**. ولابد أن يكون **مقياس الرسم الأفقى هو نفس المقياس الرأسى**. ومن خصائص هذا المنحنى أنه إذا قطعه خط رأسى عند قيمة معينة للإجهاد المتوسط **($\sigma_m$)** فإن نقطتى التقاطع مع خط بيانى الإجهاد الأقصى وخط بيانى الإجهاد الأدنى تمثلان حدود الإجهادات التى يمكن للمعدن تحملها دون تواجد خطر الإنهيار بالكلال. أما إذا خرجت قيمة الإجهاد الأقصى والأدنى لأى دورة عن هذا المنحنى فإن دورة هذا التحميل تكون غير آمنة وقد تسبب الإنهيار بالكلال. ويلاحظ أن الجزء من منحنى مقاومة الكلال الواقع بعد حد المرونة **($\sigma_y$)** لا قيمة له من الناحية العملية حيث لا يسمح بأى إجهاد أن تزيد قيمته عن إجهاد الخضوع. ويمكن رسم منحنى سميث لمقاومة الكلال مع مراعاة الأمان المناسب لإستخدامه فى التصميم وذلك بإستخدام قيم الخواص الميكانيكية للشد والكلال مقسومه على عامل الأمان المناظر.



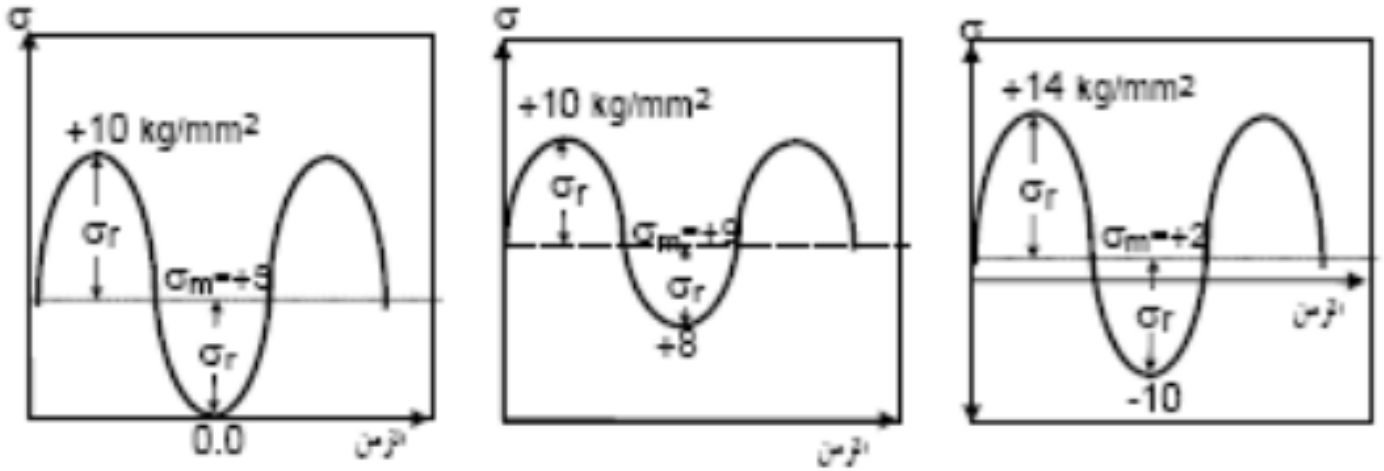

خطوات العمل:

١- توقع قيمة $\sigma_e$ على المحور الرأسي في الإتجاهين الموجب والسالب.
٢- ترسم خط على زاوية ٤٥ درجة من نقطة الأصل (O) وتوقع عليه النقطتين ($\sigma_u$ ،$\sigma_u$) ، ($\sigma_y$ ،$\sigma_y$) فنحصل على النقط 3 ، 6 على الترتيب.
٣- تصل النقطة 3 بإحداثي $\sigma_e$ على المحور الرأسي الموجب (النقطة 4).
٤- ترسم من النقطة (4) خط على زاوية ٤٥ درجة فنحصل على النقطة (5).
٥- تنصف الزاوية المحصورة بين الخط 3-4 والخط 4-5 فنحصل على النقطة 7.
٦- ترسم من النقطة 6 خط أفقي فيقطع الخط 4-7 في نقطة 8.
٧- ترسم خط رأسي من النقطة 8 حتى الخط O-6-3 وتأخذ مسافة مساوية لهذا الخط إلى أسفل فنحصل على النقطة (9).
٨- فيكون المضلع 6-9-(-$\sigma_e$)-O-4-8-6 مثلاً لبياني سميث.

**شكل (٤) منحنى مقاومة الكلال (بياني سميث).**

**مثال :**

أجرى تحليلا تجريبى للإجهادات بجزء من كوبرى معدنى معرض لحمل متكرر وكان الإجهاد الأقصى والأدنى لمواضع مختلفة طبقاً لدورات التحميل الآتية:




**النقطه (أ)** **النقطه (ب)** **النقطه (ج)**

فإذا كانت مقاومة الشد لمعدن الكوبرى =٤٠كج/مم$^{٢}$ وإجهاد الخضوع= ٢٤ كج/مم$^{٢}$ وحد الإحتمال = ١٨كج/مم$^{٢}$ ـ عامل الأمان للشد والخضوع = ٢ وعامل الأمان لحد الإحتمال = ٣. بين ما إذا كانت الإجهادات فى الموضع أ ، ب ، ج فى حدود الأمان بالنسبة للإنهيار بالكلال

# المعادلات الوضعيه لتحديد الإجهاد الأقصى والأدنى

يعين حد الإحتمال للمعدن $\sigma_e$ على أساس الإختبار بإستخدام دورة إجهاد معكوسة كلياً ولذلك يعتبر حد الإحتمال هو الإجهاد الأقصى والأدنى المسموح به.

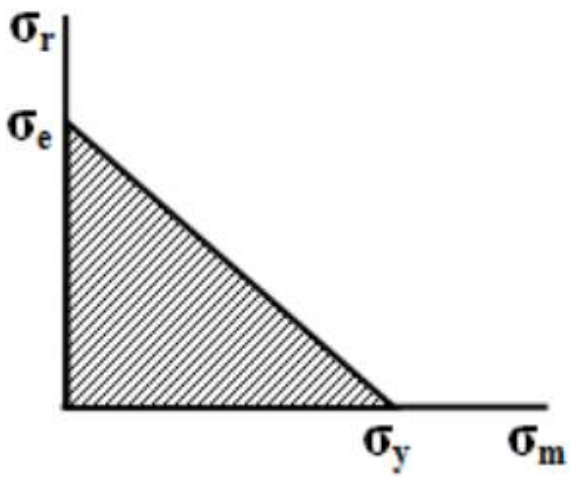
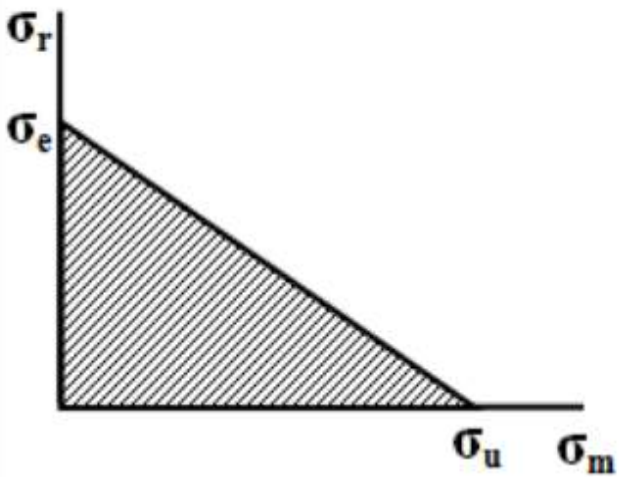
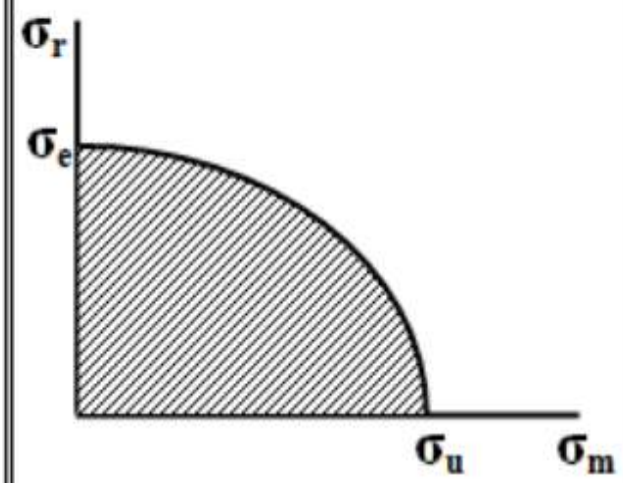
أما إذا كانت دورة الإجهاد غير معكوسة كلياً أى أن هناك قيمة للإجهاد المتوسط $\sigma_m$ فإن حد الإحتمال لا يعبر عن الإجهاد الأقصى والأدنى ويلزم لذلك تحديد قيم الإجهادات القصوى والدنيا المسموح بها حتى لا يتم الإنهيار بالكلال. وقد وضعت لذلك عدة قواعد أو معادلات تربط بين الخواص الداخلية للمعدن والأحمال المتكررة المؤثرة على المنشأ.

إذن فهذه المعادلات تقوم بحساب الإجهاد الأقصى والأدنى المسموح به لتفادى الإنهيار بالكلال وذلك بدلالة الإجهاد المتوسط $\sigma_m$ أى الإجهاد الثابت والخواص الداخلية للمعدن مثل $\sigma_e$ , $\sigma_u$ ويتم هذا فى حالة دورات الإجهاد الغير معكوسة كليا ($\sigma_m \neq 0.0$) وبصفة عامة فإنه ينبغى أن لاتزيد أكبر قيمة للإجهاد يتعرض لها المعدن عن قيمة $\sigma_y$.

أما فى حالة الدورات المعكوسة كليا ($\sigma_m = 0.0$) فإن أكبر قيمة للإجهاد $\sigma_{min}$ , $\sigma_{max}$ ينبغى أن لا تزيد عن قيمة $\sigma_e$.

فى حالة إعتبار عامل أمان فإن الذى يُقسم على عامل الأمان هو الخواص الخاصة بالمعدن $\sigma_u$ , $\sigma_y$ , $\sigma_e$ (الإجهادات الداخليه)

وتأخذ هذه المعادلات الشكل الآتى:

| Soderberg rule | Goodman rule | Gerber rule |
|---|---|---|
| $\frac{\sigma_r}{\sigma_e} + \frac{\sigma_m}{\sigma_y} = 1$ | $\frac{\sigma_r}{\sigma_e} + \frac{\sigma_m}{\sigma_u} = 1$ | $\frac{\sigma_r}{\sigma_e} + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_u}\right)^2 = 1$ |
|   More safe |   Less cost |   |

**حيث:**

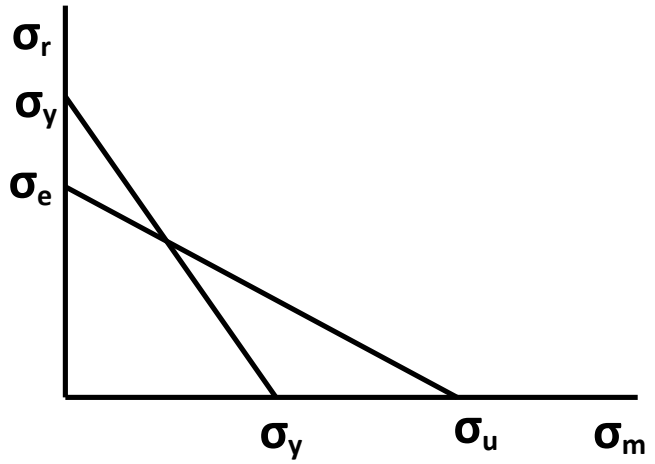
1- Repeated stress : $\sigma_r = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$

2- Mean stress : $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$

3- Range of stresses $R = \sigma_{max} - \sigma_{min}$

## • Modified Goodman diagram:

• يعتبر التمثيل البيانى لقانونى Soderberg وGoodman هو ما يسمى المثلث التصميمى للكلال Fatigue Design Triangle



1- A survey of the stresses at the critical points of machine member was carried out and the value of the maximum and minimum stresses at points A, B, C were as follows:

| | A | B | C |
|---|---|---|---|
| $б_{max}$, Kg/mm$^2$ | +12 | +8 | +4 |
| $б_{min}$, Kg/mm$^2$ | -8 | zero | -2 |

If the properties of the steel member were as follows: Tensile strength = 40 kg/mm$^2$, yield strength = 24 kg/mm$^2$, and endurance limit = 20 kg/mm$^2$. Using soderberg rule show whether this member is safe or not if the factor of safety = 2 for static load and = 3 for fatigue loading.

2- A part of machine is subjected to repeated load of mean stress equals to 1260 kg/cm$^2$. Find the max. and min. stresses using Gerber's, Goodman's and Soderberg's rules. The tensile strength of the material is 4200 kg/cm$^2$, yield strength is 3360 kg/cm$^2$ and the fatigue limit is 2100 kg/cm$^2$.

3- A part of machine is subjected to repeated load change from +3 to +1 tons. Find the cross section area of this part using Goodman rule. The factor of safety = 2, the tensile strength of the material = 40 kg/mm$^2$, yield strength = 24 kg/mm$^2$ and the fatigue limit = 18 kg/mm$^2$. Find also the cross section area of the part using Soderberg' rule.

4- The number of cycles to failure from the S-N curve for a certain steel are:

| Stress, MN/m$^2$ | Number of cycles to failure, cycles |
|---|---|
| 350 | 2 000 000 |
| 380 | 500 000 |
| 410 | 125 000 |

If a component manufactured from this steel is subjected to 600 000 cycles at the stress 350 MN/m$^2$ and 150 000 cycles at the stress 380 MN/m$^2$. How many cycles can the component withstand at 410 MN/m$^2$ before fatigue failure occurs. Assuming that Miner's cumulative damage theory applies.

# Solved Sheet (Fatigue)

**(1) A survey of the stresses at the critical points of machine member was carried out and the value of the max. and min. stresses at points A, B, C were as follows:**

| | A | B | C |
|---|---|---|---|
| $\sigma_{max}$, kg/mm$^2$ | **+ 12** | **+ 8** | **+ 4** |
| $\sigma_{min}$, kg/mm$^2$ | **- 8** | **Zero** | **- 2** |

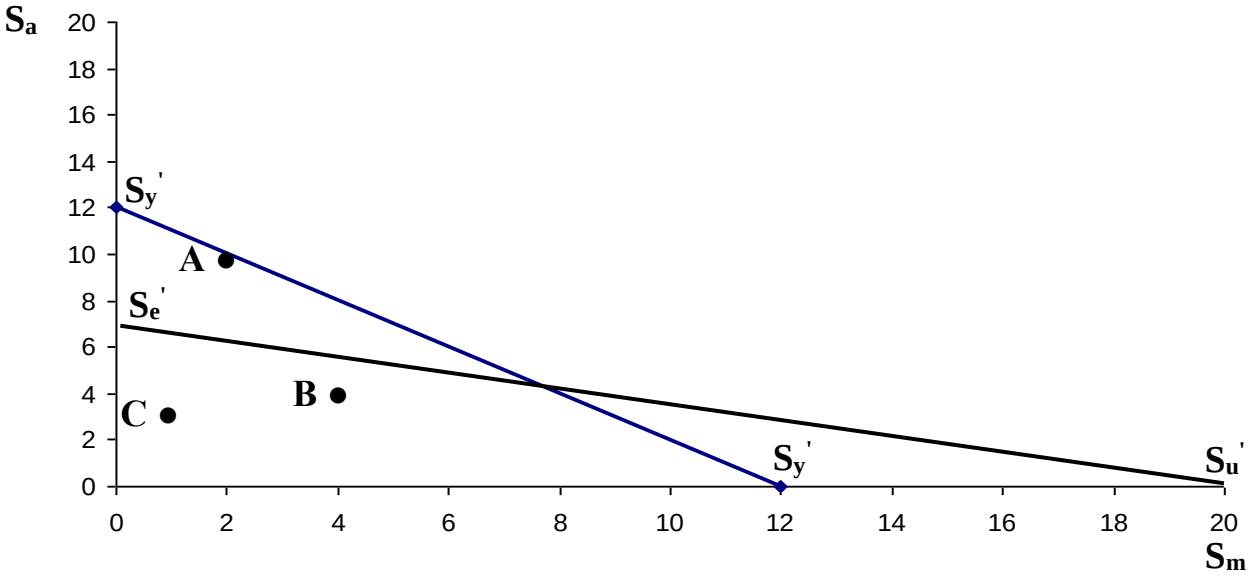
**If the properties of the steel member were as follows:**
**Tensile strength = 40 kg/mm$^2$, yield strength = 24 kg/mm$^2$, and endurance limit = 20 kg/mm$^2$. Show whether this member is safe or not if the factor of safety = 2 for static load and = 3 for fatigue loading**

---

$\sigma_u$ = 40 $\sigma_y$ = 24 $\sigma_e$ = 20 F.S. = 2 (Static) F.S. = 3 (Dynamic)

$$\sigma_u' = \frac{\sigma_u}{2} = \frac{40}{2} \quad 20 \qquad \sigma_y' = \frac{\sigma_y}{2} = \frac{24}{2} = 12 \qquad \sigma_e' = \frac{\sigma_e}{2} = \frac{20}{3} \quad 6.7$$

| | A | B | C |
|---|---|---|---|
| $S_{max}$ | 12 | 8 | 4 |
| $S_{min}$ | -8 | 0 | -2 |
| $S_m = \frac{S_{max} + S_{min}}{2}$ | 2 | 4 | 1 |
| $S_a = \frac{S_{max} - S_{min}}{2}$ | 10 | 4 | 3 |
| | Unsafe | Safe | Safe |



**(2) Plot the Goodman diagram for steel having a fatigue limit of 320 MN/m$^2$ and a tensile strength of 740 MN/m$^2$. Predict, using the diagram, whether the following stress amplitudes are likely to lead to fatigue failure:**

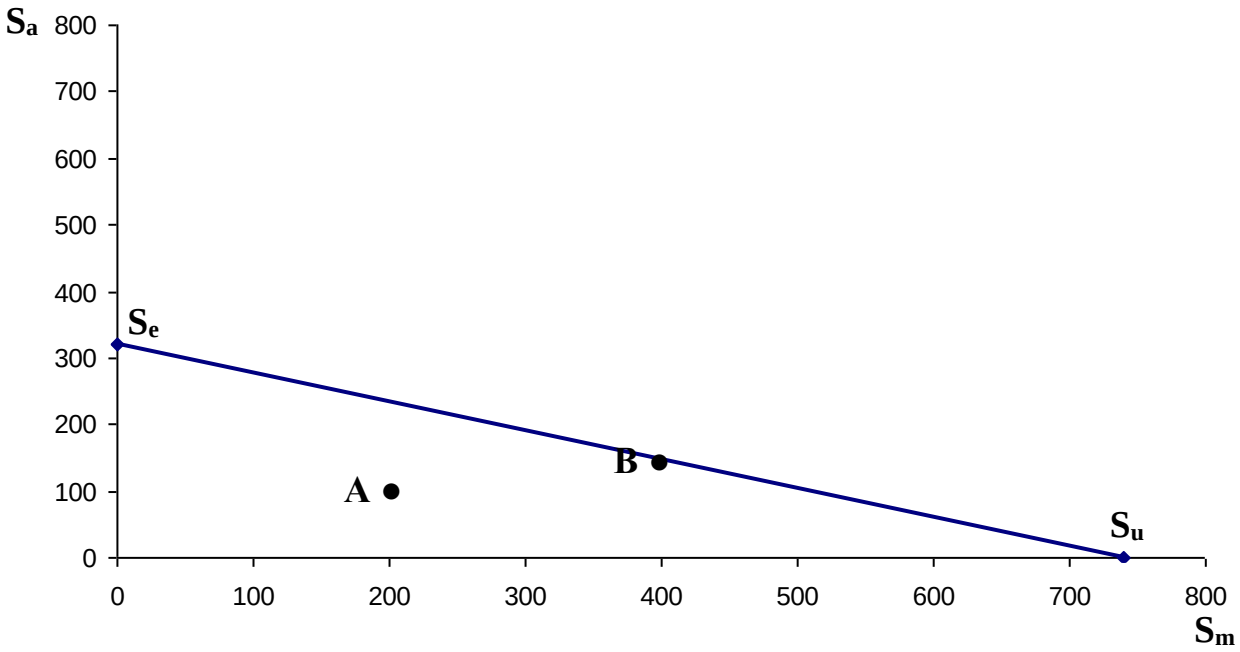
**(a) 100 MN/m$^2$ at mean stress of 200 MN/m$^2$**

**(b) 150 MN/m$^2$ at mean stress of 400 MN/m$^2$**

---

$S_u$ = 740 $S_e$ = 320

| | A | B |
|---|---|---|
| $S_m$ | 200 | 400 |
| $S_a$ | 100 | 150 |
| | Safe | Safe (Critical) |



**(3) The number of cycles to failure from S-N curve for certain steel is:**

| Stress, $MN/m^2$ | Number of cycles to failure, Cycles |
|---|---|
| **350** | **2,000,000** |
| **380** | **500,000** |
| **410** | **125,000** |

**If a component manufactured for this steel is subjected to 600,000 cycles at the stress 350 $MN/m^2$ and 150,000 cycles at the stress 380 $MN/m^2$. How many cycles can the component is expected to withstand at 410 $MN/m^2$ before fatigue failure occurs, assuming that Miner's commulative damage theory applies?**

---

| S ($MN/m^2$) | n | N |
|---|---|---|
| 350 | 600,000 | 2,000,000 |
| 380 | 150,000 | 500,000 |
| 410 | X | 125,000 |

Using Miner's commulative damage theory

$$\sum \frac{n}{N} = 1$$

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \cdots\cdots\cdots\cdots = 1$$

$$\frac{600.000}{2,000,000} + \frac{150.000}{500,000} + \frac{X}{125,000} = 1$$

**X = 50,000 cycle**

**(4) A part of machine is subjected to repeated load of mean stress equals to 126 MPa. Find the maximum and minimum stresses using Goodman's, Soderberg's and Gerber's rules. The tensile strength of the material is 420 MPa, yield strength is 336 MPa and the fatigue limit is 210 MPa.**

---

$S_u = 420$ MPa  $S_y = 336$ MPa  $S_e = 210$ MPa  $S_m = 126$ MPa

**(I) Goodman's rule**

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_u} = 1$$

$$\frac{S_a}{210} + \frac{126}{420} = 1 \qquad S_a = 147 \text{ MPa}$$

$$S_m = 126 = \frac{S_{max} + S_{min}}{2} \qquad S_{max} + S_{min} = 252$$

$$S_a = 147 = \frac{S_{max} - S_{min}}{2} \qquad S_{max} - S_{min} = 294$$

$S_{max} = 273$ MPa  $S_{min} = -21$ MPa

**(II) Soderberg's rule**

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_y} = 1$$

$$\frac{S_a}{210} + \frac{126}{336} = 1 \qquad S_a = 131.25 \text{ MPa}$$

$$S_m = 126 = \frac{S_{max} + S_{min}}{2} \qquad S_{max} + S_{min} = 252$$

$$S_a = 131.25 = \frac{S_{max} - S_{min}}{2} \qquad S_{max} - S_{min} = 262.5$$

$S_{max} = 257.25$ MPa  $S_{min} = -5.25$ MPa

**(III) Gerber's rule**

$$\frac{S_a}{S_e} + \left(\frac{S_m}{S_u}\right)^2 = 1$$

$$\frac{S_a}{210} + \left(\frac{126}{420}\right)^2 = 1 \qquad S_a = 191.1 \text{ MPa}$$

$$S_m = 126 = \frac{S_{max} + S_{min}}{2} \qquad S_{max} + S_{min} = 252$$

$$S_a = 191.1 = \frac{S_{max} - S_{min}}{2} \qquad S_{max} - S_{min} = 382.2$$

$S_{max} = 317.1$ MPa  $S_{min} = -65.1$ MPa