ثم يقـــارن مـــع الحمـــل الفعلي. وتتغير أبعاد المقطع أو تعدل إذا كانت القيم غير متوافقة. هذا ويمكن كذلك وضع قيمة للحمل في المعادلة ومن ثم حساب الإجهاد وعامل الأمان ومقارنته بالعامل الصحيح.

١٧- الإجهادات المتحدة combined stresses:

تـــتعرض الأعمـــدة عند نقل القدرة إلى عزم التواء (M_t) غالباً ما يكون مصحوباً بعزم انحناء (M_b). وقد يتحد إجهاد الشد والضغط مصحوباً بانحناء كما في الجوائز، وقد يتأثر جزء الآلة بالتواء مصحوباً بإجهاد ضغط....وهكذا.

وســـنأتي عـــلى بحث هذه الإجهادات بمختلف الحالات عند دراستنا للأعمدة في الفصل الثالث والقارنات في الفصل العاشر من هذا الكتاب.

١٨- الإجهادات والانفعالات الحرارية:

تتغير مقاسات المعادن بصورة عامة بتغير درجة الحرارة إذا لم يكن هناك ما يعـــيق هـــذا التغير، أما إذا منع هذا التغير بطريقة ما فإنه ينتج في المعدن إجهادات حرارية تناظر التغير الممنوع.

إذا ارتفعـــت درجـــة حرارة قضيب حر (غير مقيد) بصورة منتظمة فإنه يتمدد (ينفعل) بمقدار يساوي إلى :

$$\Delta l = L_2 - L_1 = L_1.\alpha.(T_2 - T_1)$$

حيث :

L_1 : طول القضيب عند درجة الحرارة (T_1).

L_2: طول القضيب عند درجة الحرارة (T_2).

α: معامل التمدد ويعطيها الجدول رقم (6)

ويكون معدل (وحدة) هذا الانفعال يساوي إلى :

$$\zeta = \frac{\Delta L}{L_1} = \alpha(T_2 - T_1) \qquad (37\text{-}2)$$

عـــند منع القضيب من التمدد وذلك بتقييده من طرفيه مثلاً، فإنه يتولد فيه إجهاد انضغاط (إجهاد حراري) قدره:

$$\sigma = E.\zeta = E.\alpha(T_2 - T_1) \qquad (38\text{-}2)$$

حيث : E: معامل المرونة (يونغ).

كذلك إذا قيدت صفيحة مستوية من أطرافها وتعرضت لارتفاع في درجة الحرارة فإنه يتولد فيها إجهاد انضغاط (حراري) مقداره:

$$\sigma = \frac{E.\alpha(T_2 - T_1)}{1-\mu} \qquad (39\text{-}2)$$

حيث : μ: معامل بواسون

يضاف الإجهاد الحراري الناتج إلى الإجهادات الأخرى عند تصميم جزء الآلة أو المنشأة، ويوجد تطبيقات عديدة للاستفادة من هذه الخاصية نذكر منها:

١- إدخال الجلب في كتلة المحرك.

٢- إدخال العجلات في أعمدتها كما في الحافلات والقطارات .

ومـــن جهـــة أخـــرى فيجـــب الانتباه دوما إلى قابلية المعادن للتمدد أو الانكماش عند ارتفاع أو انخفاض درجات الحرارة فمثلاً:

١- يجـــب ترك فراغ بين قضبان السكك الحديدية أو ملئه بمادة طرية كالمطاط أو خلافه بحيث تنصهر عند ارتفاع درجة الحرارة وتسمح بتمدد القضبان.

٢- ملاحظة ازدياد تدلي الأسلاك الناقلة للقدرة الكهربائية والمحملة على أعمدة أو أبراج نتيجة لارتفاع درجات الحرارة أو الحالة المعاكسة.

١٩- الصدم Impact :

إن للـــتعابير: حمـــولات الصدم والقوى العابرة Transient-forces نفس المعاني تقريباً عندما نستخدمها في تصميم الآلات. فنحن نفكر في التصادم على أنه

اصطدام جسمين يملك أحدهما على الأقل سرعة لابأس بها ويمكن اعتبار هذا نوعاً من حمولة الصدم، ولكن حمولة الصدم المسببة عن الانفجار ليست تصادماً لأن الأمر خاص بجسم واحد فقط. والقوة العابرة هي تلك القوة التي تستمر لفترة قصيرة من الزمن.

وقد كان المصممون في الماضي يلجؤون إلى مجرد مضاعفة عوامل الأمان لأخذ الصدم والتصادم الذي تتعرض له الآلة بعين الاعتبار، على أن هناك إثباتات كثيرة تدل على أن مقاومة المواد المستخدمة تزيد عندما تؤثر الحمولة بصورة سريعة. ومن الممكن لذلك استخدام عوامل أمان أقل بدلاً من عوامل الأمان الكبيرة.

هناك طرق دقيقة تعطي نتائج ممتازة لتعيين استجابة الجزء المصمم للقوى العابرة بما في ذلك الصدم والتصادم تعتمد على معرفة العلاقة بين القوة والزمن ومن ثم وضع نموذج رياضي للآلة بتقسيمها إلى سلسلة من النوابض والكتل والمخمدات على شكل نظام ذي حرية واحدة أو حريات عديدة ومن ثم إيجاد العلاقة بين المطال أو الانحراف مع الزمن، أي استجابة النظام. وبذلك يصبح الحصول على القوى وعلى عزوم الدوران سهلاً وكذلك على الإجهادات بالطرق المألوفة.

هذه الطرق مكلفة وتحتاج إلى وقت طويل، لذا لابد من اللجوء إلى الطرق السريعة المختصرة والتي تأخذ بالافتراضات التالية:

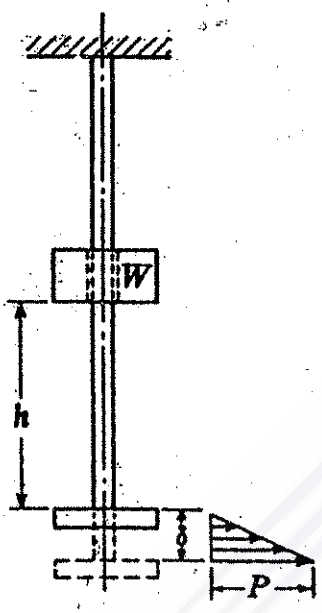
١-إهمال عطالة النظام، أي اختصار المسألة إلى حالة توازن ساكن

٢-انحراف النظام يتناسب طردياً مع القوة.

٣-إن المواد تتبع قانون هوك.

٤-عدم وجود خسارة في الطاقة.

يـــبين الشكل (2-11) ثقلاً (W) يهبط بشكل حر، الطاقة المسببة (U) عن هبوط الثقل (W) مسافة (h) تساوي:



الشكل (2-11)

$$U = W(h+\delta) \qquad (40\text{-}2)$$

حيث : δ : استطالة القضيب.

وحيـــث إن طاقـــة الانفعال في الشد والضغط تساوي إلى:

$$U = \frac{\sigma^2.A.1}{2E} \qquad (41\text{-}2)$$

فمن العلاقتين (2-40)و (2-41) يكون:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2W(h+\delta)E}{A.1}} \qquad (42\text{-}2)$$

وحيث أن $\delta = \frac{W.1}{A.E}$ فتصبح المعادلة (2-42) كالتالي:

$$\sigma = \frac{W}{A} + \frac{W}{A}\sqrt{1+\frac{2.h.E.A}{W.1}} \qquad (43\text{-}2)$$

إن الحـــد الأول يمثل الإجهاد الموجود في حالة التطبيق التدريجي للحمولة، ونلاحظ أنه عندما h=0 فإن المعادلة (2-43) تصبح مساوية إلى :

$$\sigma = \frac{2.W}{A} \qquad (44\text{-}2)$$

وهـــذه العلاقـــة تمثل الإجهاد في القضيب إذا طبقت الحمولة فجأة ولكن دون ســـرعة ابتدائـــية. إن هذا الإجهاد الناشئ يساوي ضعف الإجهاد المتولد عن نفس الحِمْل والمطبق بصورة تدريجية على جزء الآلة.

٢٠-التدلي أو الانحراف للجوائز Deflection of beams:

يتدلى كل جائز أو عمود بمقدار يتوقف علي:

١- نوع التحميل ومقداره.

٢-كيفية ارتكاز طرفي الجائز أو العمود.

٣-أبعاد الجائز أو العمود.

٤-معدن الجائز أو العمود.

إن مقدار التدلي(y) ويقدر عادة بالسنتمتر يجب أن لا يتجاوز حدود معينة (خصوصاً في الأعمدة الدوارة التي يتوقف تصميمها على لمقدار القوة النابذة والسرعات الحرجة وعوامل أخرى)، حيث يجب أن يحسب هذا المقدار ويقارن بالقيم المسموح بها.

لقد زودنا هذا الكتاب في الفصل الرابع عشر ببعض الأوضاع المختلفة للجوائز الأكثر استعمالاً في التصميم وقيم أقصر تدل، إضافة لبعض المعطيات الأخرى. يمكن للطالب العودة إليها.

للمراجعة فقط: نحن نعلم من مقاومة المواد أن :

$$\frac{1}{\rho}=\frac{M}{E.I}=\frac{d^2y}{dx^2} \qquad (45\text{-}2)$$

حيث : ρ: نصف قطر انحناء الجائز بسبب عزم الانحناء M.

وهذه المعادلة تعبر عن علاقة أساسية بين عزم الانحناء M وبين الانحراف الناتج(y).

من مفاضلة العلاقة (45-2) نحصل على :

$$\frac{1}{E.I}=\frac{dM}{dx}=\frac{d^3y}{dx^3} \qquad (46\text{-}2)$$

وحيث أن $F=\frac{dM}{dx}$ فنحصل على :

$$\frac{F}{E.I}=\frac{d^3y}{dx^3} \qquad (47\text{-}2)$$

ونورد فيمايلي هذه العلاقة مع بعض العلاقات الأخرى استناداً إلى أبحاث مقاومة المواد:

$Y=\text{deflection}$ الانحراف (48-2)

$$\theta = \frac{dy}{dx} \qquad \text{الميل} \qquad (49\text{-}2)$$

$$\frac{M}{E.I} = \frac{d^2y}{dx^2} \qquad \text{العزم} \qquad (50\text{-}2)$$

$$\frac{F}{E.I} = \frac{d^3y}{dx^3} \qquad \text{القص} \qquad (51\text{-}2)$$

$$\frac{W}{E.I} = \frac{d^4y}{dx^4} \qquad \text{الحمولة} \qquad (52\text{-}2)$$

حيث تمثل F حملاً مركزاً و W حملاً موزعاً.

مثال محلول رقم (2-4) :

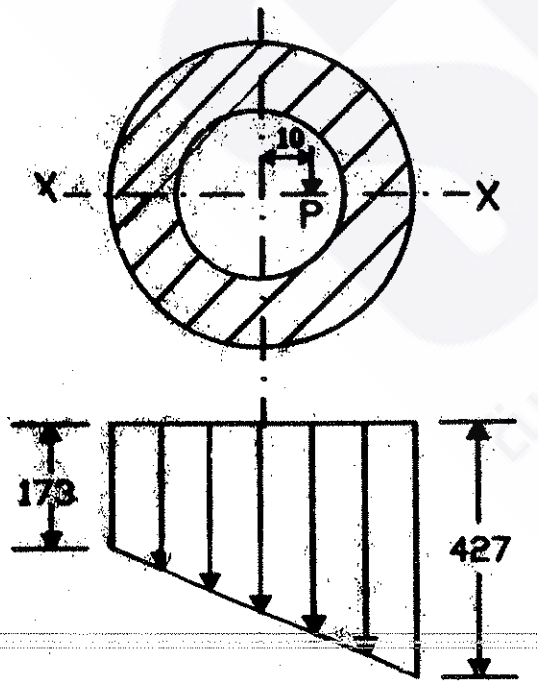
عمـــود دائري مفرغ من حديد الصب قطره الخارجي (25cm) والداخلي (15cm) يـــتعرض لحمـــل شـــاقولي مقداره (40tons) غير مركزي كما هو مبين بالشكل المطلوب إيجاد الإجهادات الأعظمية (ضغط وشد).

الحـــل:

١- مساحة المقطع:

$$= \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4}\left[(25)^2 - (15)^2\right]$$

$$= 314 \ cm^2$$



إجهاد الضغط المباشر :

$$\sigma_c = \frac{P}{A} = \frac{40}{314} = 0.127 \ tons/cm^2$$

$$= 127 \ kg/cm^2$$

عزم الانحناء:

$$= P \times e = 40 \times 10 = 400 \ tons.cm$$

عزم العطالة:

$$= \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64}\left[(25)^4 - (15)^4\right]$$

$$= 16,700 \ cm^4$$

إجهاد الانحناء:

$$\sigma_b = \frac{M \times Y}{I} = \frac{400 \times 12,5 \times 1000}{16,700} = 300 \ kg/cm^2$$

إجهاد الضغط الأعظمي:

$$= \sigma_c + \sigma_b = 127 + 300 = 427 \ kg/cm^2$$

إجهاد الشد الأعظمي:

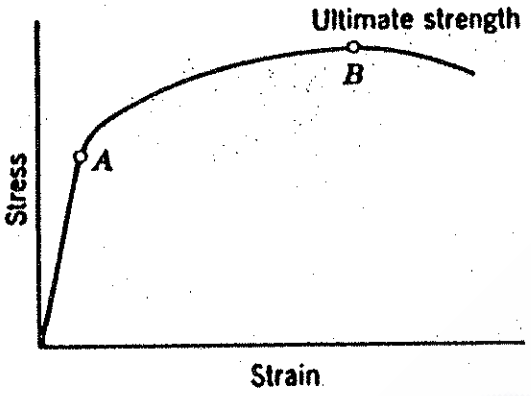
$$= \sigma_c - \sigma_b = 127 - 300 = 173 kg/cm^2$$

٢١- منحنيات الإجهاد- الانفعال : $(\sigma - \varsigma)$

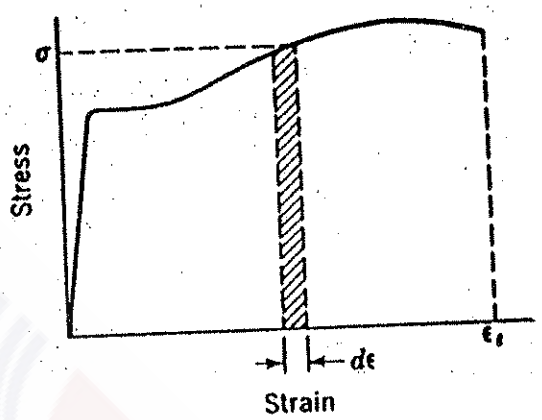
إن مشـــكلة المقاومة الميكانيكية هي إحدى القضايا الهامة في تصميم أجزاء الآلات، فـــنقص المعلومات وعدم فهم تصرف المواد الهندسية تحت ظروف الخدمة العادية قد أدى في كثير من الأحيان إلى اهيارات باهظة التكاليف.

إن معـــادلات الإجهـــاد السابقة تنطبق بصورة عامة على المواد المتجانسة والخاضـــعة لحمـــولات ثابتة، ولكن لابد من تطوير نظريات التصميم لكي تشمل الحمـــولات المتـــناوبة الـــتي تـــؤدي مقاومة التعب للمادة فيها أثراً كبيراً في نجاح التصـــميم، ويجب أن تأخذ أجزاء الآلات أشكالاً تتفادى معها قدر الإمكان تركز الإجهـــادات عند النقاط الخاضعة لحمولات كبيرة، كما لابد من إجراء التعديلات المناسبة عندما تتعرض المادة لحمولات باتجاهين يضاف إلى ذلك ضرورة التمييز بين المواد المطيلة Ductile materials والمواد القصيفة (الهشة) Brittle materials.

إن الـــتجارب المخـــبرية عـــلى الشد تعطينا مخططات الإجهاد- الانفعال فالشكل (2-12) يبين المخطط $(\sigma - \varsigma)$ للفولاذ القليل الفحم Low-carbon steel ونلاحـــظ أن المـــادة تتـــبع قانون هوك حتى تصبح الحمولة أكثر قليلاً من نصف المقاومة القصوى Ultimate strength المبينة على الشكل (2-13).



الشكل (2-13)



الشكل (2-12)

ولهـــذه المـــادة نقطـــة خضوع Yield point واضحة بشكل جيد وهي التي تحدد الإجهاد الذي تحدث عنده زيادة ملحوظة في الاستطاعة دون زيادة في الحمولة.

إن حد التناسب Proportional limit يحدد القيمة العظمى للإجهاد الذي ينطبق عليه قانون هوك. ونجد معامل المرونة للمادة (E) من معرفة الميل σ/ζ للجزء المستقيم من المنحني أي :

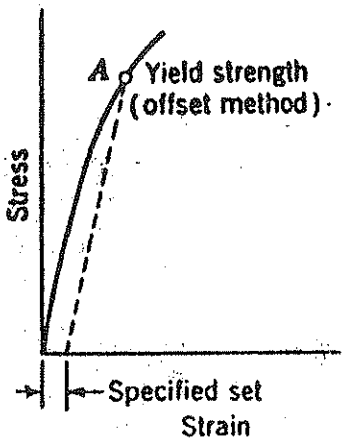
$$E = \frac{\sigma}{\zeta} \qquad (53\text{-}2)$$

بعد الوصول إلى الإجهاد الأعظمي تخضع عينات الفولاذ إلى نقصان ظاهر في القطـــر، إن نسبة خسارة مساحة المقطع عند الانهيار إلى المساحة الأصلية تدعى بنقصـــان المساحة Reduction of area وهذه الكمية بالإضافة إلى الاستطالة عند الانهيار تعطي معلومات مفيدة بخصوص مطيلية المادة Ductility.

تؤثر سرعة تطبيق الحمولة على شكل المخطط، فكلما زادت هذه السرعة كلما ارتفعت قيمة نقطة الخضوع والإجهادات الأعظمية.

لا يوجد لبعض أنواع الفولاذ حد مرن محدد جيداً، ولكن هذا النوع المبين بالشكل (2-14) يخضع Yields تدريجياً بعد تجاوزه حد المرونة. لو أن التحميل

توقـــف عند النقطة (A) أي بعد الحد المرن ثم أزيلـــت الحمولـــة عـــن العينة وأخذت القـــراءات ثانـــية فـــإن المخطط يتبع الخط المـــنقط، ويكون قد حدث تشوه دائم لدن، والإجهاد المكافئ لهذا التشوه يدعى بمقاومة الخضوع Yield strength ويعتبر حداً لمدى الفائدة الهندسية للمادة.

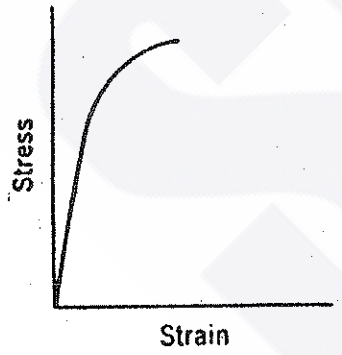


الشكل (2-14)

في حالـــة المـــواد المطيلية نجد أن قيمة مقاومة الخضوع في القص تساوي حوالي (0.5-0.6) من مقاومة الخضوع في الشد.

إن المـــواد غير المطيلية Nonductile أي الهشة (القصيفة) كالحديد الصب Cast iron والبيتون لا تخضع لقانون هوك إلى أية درجة ملحوظة والشكل (2-15) يبين المخطط $(\sigma - \zeta)$ للحديد الصب.

إن نظريات المرونة الابتدائية التي بحثناها ســـابقاً تنطبق فقط على الأجسام ذات المقـــاطع المنتظمة ولكن تلك النظريات عاجـــزة عـــن أي تدرس تأثير تغيرات المقطع على الإجهادات الناجمة.



الشكل (2-15)

٢٢- تركيز الإجهادات Stress concentration:

لقـــد اعتـــبرنا عند إيجاد معادلات الإجهادات في حالات الشد والضغط والانحـــناء والالتواء أنه لا توجد تغيرات مفاجئة في مقطع العضو المعرض للإجهاد، وذلـــك لنـــتمكن من الحصول على حلول رياضية بسيطة يمكن تطبيقها على عدد كبير من حالات التصميم العملية.

ولكـــن في الحقيقة من العسير تصميم أية آلة دون الاضطرار إلى السماح بتغـــيير مقاطع أجزاء تلك الآلة، فالأكتاف Shoulders ضرورية للأعمدة والمحاور الدائـــرة لكـــي تستند إليها المساند، ومجاري الخوابير Keyways ضرورية لتثبيت المســـننات والـــبكرات على الأعمدة بواسطة الخوابير كما أن الأسنان في البراغي تحـــدث تغيراً مفاجئاً في المقطع، يضاف إلى ذلك الثقوب الضرورية في بعض القطع ومجاري الزيت...

إن هذه التغيرات في المقاطع تغير أيضاً توزيع الإجهادات في الجزء القريب مـــن المقطـــع بشكل يختلف تماماً عما عرضناه في المعادلات الابتدائية وتدعى هذه الـــتغيرات في المقـــاطع برافعات الإجهاد Stress raisers كما تدعى المناطق التي تحدث فيها بمناطق تركيز الإجهادات Stress-concentration.

يســـتخدم عـــادة عامل تركيز إجهادات نظري أو هندسي (يعتمد على الشـــكل الهندســـي للجسم) K_t أو K_{ts} للربط بين الإجهاد الأعظمي الحقيقي عند منطقة تغير المقطع وبين الإجهاد الاسمي، وتعطى بالمعادلات التالية:

$$k_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_o} \qquad k_{ts} = \frac{\tau_{max}}{\tau_o} \qquad (54\text{-}2)$$

حيـــث: σ_o, τ_o همـــا الإجهادان المحسوبان باستخدام معادلات الإجهاد الابتدائية والمقطع الصافي.

إن الرمـــز(t) في (k_t) يعـــني أن قيمة تركيز الإجهادات تعتمد فقط على الشكل الهندسي للقطعة دون اعتبار المادة المصنوعة منها وهذا هو سبب اعتبار هذا العامل نظرياً، هذا ويمكن تعديل قيمة (k_t) لإدخال تأثير نوع المادة.

ولقـــد زودنـــا هـــذا الكـــتاب في الفصل الرابع عشر بمخططات تركيز الإجهادات بمقاطع وحالات مختلفة.

ويجـــب الانتباه جيداً لكل مخطط قبل حساب الإجهاد الاسمي لأن بعض الإجهـــادات تســـتند إلى المساحة الصافية Net area بينما يستند بعضها الآخر إلى المساحة الكلية للمقطع Gross area or cross section .

٢٣- التعب Fatigue :

عندما تطبق الإجهادات مرة واحدة فإن هذه الحالة تدعى بالحالة الساكنة كما في الإنشاءات وأجزاء الآلات، ولكن هناك حالات تتغير فيها الإجهادات بين قيم معينة مرات عديدة.

ففـــي حالة عمود دائر خاضع لتأثير حمولات انحناء، نجد أن الألياف عند ســـطح هـــذا العمود يخضع للشد والضغط في كل دوره يدورها العمود. فلو كان العمود جزءاً من محرك كهربائي يدور بسرعة 1450 rpm فإن الليف المذكور ينشد وينضـــغط 1450 مـــرة في الدقـــيقة وإذا كان العمود خاضعاً كذلك لقوة محورية (مسببة مثلاً عن مسنن فإن مركبة محورية للإجهاد تضاف إلى مركبة الانحناء وينشأ عـــن ذلـــك أن في أحـــد الألياف يبقى متناوباً ولكنه يتناوب الآن بين قيم مختلفة حسب نوع التحميل الذي نصادفه في أجزاء الآلات يحدث إجهادات نطلق عليها اســـم الحمولات المتكررة أو المتناوبة أو المتراوحة. alternatins or fluctuating stresses فكـــثيراً ما تنهار أجزاء الآلات تحت تأثير الحمولات المتكررة أو المتناوبة عـــند إجهـــادات تقل قيمتها عن المقاومة القصوى ultimate strength وكثيراً ما كانت تقل عن مقاومة الخضوع Yield strength.

في هـــذه الانهـــيارات تكون الإجهادات قد تكررت عدداً كبيراً جداً من المرات، ويدعى هذا الانهيار بانهيار التعب Fatigue failure .

يـــبدأ انهـــيار التعـــب بشق صغير جداً لا يمكن رؤيته بالعين المجردة

بـــل من الصعب تحديد موقعه بواسطة أشعة (x) أو عن طريق التدقيق المغناطيسي Magnaflux inspection. إن هـــذا الشق ينشأ عند نقطة فيها تغير في مقطع المادة أو عـــند مجـــاري الخوابـــيز أو الـــثقوب وأماكن أخرى، حيث تزداد حدة تركز الإجهـــادات وينتشـــر الشق ويزداد بسرعة كبيرة. وكلما نقصت المساحة المجهدة كـــلما زاد مقدار الإجهاد الأخير وينهار ما تبقى من المساحة دفعة واحدة. يتميز انهيار التعب بمساحتين مختلفتين:

١-المساحة المسببة عن التطور التدريجي للشق وتكون ناعمة وملساء تقريباً.

٢-مساحة سطح الانهيار المفاجئ يكون مؤلفاً من بلورات كبيرة.

عندما ينهار جزء الآلة بصورة ساكنة فإنه معرض لانحراف كبير حيث إن الإجهـــاد يتجاوز مقاومة الخضوع، ويمكن استبدال هذا الجزء قبل حدوث الكسر الحقـــيقي. مـــن هنا نجد أن كثيراً من الانهيارات الساكنة تكون ملحوظة وتعطي تحذيراً مسبقاً.

إن انهـــيار التعب لا يعطي أي تحذير فهو مفاجئ وشامل لذلك فهو خطر جـــداً، والحقيقة أن التعب ظاهرة معقدة وليست مفهومة تماماً، لذا فعلى المهندس اكتساب أكبر قدر من المعلومات حول هذا الموضوع.

قـــد يخطر بالبال مضاعفة عامل الأمان مرتين أو ثلاثة نظراً لقلة المعلومات فنحصل على تصميم لا ينهار بسهولة، ولكن مثل هذه التصاميم غير اقتصادية ولا تستطيع المنافسة. إن الخبرة الشخصية والحس الهندسي لهما أثران في هذا المجال.

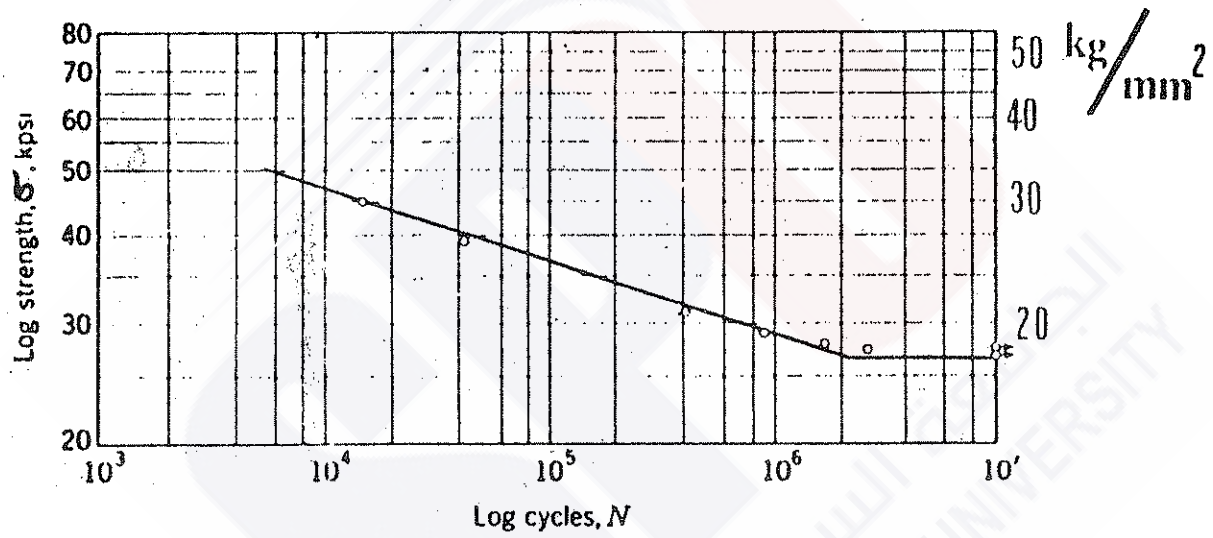
٢٤- مقاومة التعب وحد الاحتمال :

Fatigue strength and endurance limit:

يـــتم تعيين مقاومة المواد تحت تأثير حمولات التعب بإخضاع العينات إلى قوى متكررة أو متغيرة ذات قيم معلومة، ومن ثم إحصاء عدد المرات التي تنعكس

فـــيها هذه القوى. وأكثر آلات اختبار التعب انتشاراً هي آلة R.R.Moore ذات الجائـــز الســـريع الدوران High speed rotating beam machine وفي هذه الآلة تخضـــع العيـــنة إلى حمولـــة انحـــناء ثابتة بواسطة الأثقال ويحصى عدد الدورات (انعكاسات الإجهاد) التي يدورها الجائز حتى الانهيار.

يتم الاختبار الأول تحت إجهاد يقل قليلاً عن المقاومة القصوى Ultimate strength للمادة، والاختبار الثاني عند إجهاد أقل من الإجهاد الأول، وتستمر هذه العملـــية وترســـم النـــتائج على ورق لوغارتمي كامل (Log-Log) كما هو مبين بالشكل (16-2).



الشكل (16-2)

يدعـــى الإحداثـــي العمـــودي من هذا المخطط (σ – N) بمقاومة التعب Fatigue strength (σ_f)، وهـــي المقاومـــة التي تنهار عندها المادة بعد عدد معين (N) من الدورات أو الهزات (Cycle).

في حالة المواد الحديدية أو خلائطها يصبح المنحني أفقياً بعد عدد معين من الـــدورات (N). ففي حالة الفولاذ مثلاً فإن الخط الأفقي يعني أن الانهيار لا يحدث إذا قـــل الإجهاد عن هذه القيمة مهما كان عدد الدورات التي يتغير فيها الإجهاد. إن المقاومـــة الممـــثلة بـــالخط المستقيم تسمى بحد التعب Fatigue limit أو حد

الاحـــتمال (σ_e) Emdurance limit وتعطى من الجدول رقم (25) لبعض المواد ولا يمكـــن أن يصبح الخط أفقياً في المواد غير الحديدية وخلائطها أي أنه لا يوجد حد احتمال لهذه المواد.

لقد أثبتت التجارب أن حد الاحتمال للفولاذ (σ_e) يتراوح بين (40-60) مـــن مقاومـــة الشـــد القصوى Ultimate tensile strength وذلك لغاية 1400 kg/cm^2 ويمكن اتباع القاعدة التالية:

$$\sigma_e = 0.5\,\sigma_{ut} \qquad \sigma_{ut} \le 1400 \quad kg/cm^2$$

$$\sigma_e = 700 \quad kg/cm^2 \qquad \sigma_{ut} \ge 1400 \quad kg/cm^2$$

ملاحظة :

يتم الحصول على هذه النتائج باستخدام آلة الاختبار ذات الجائز الدوار.

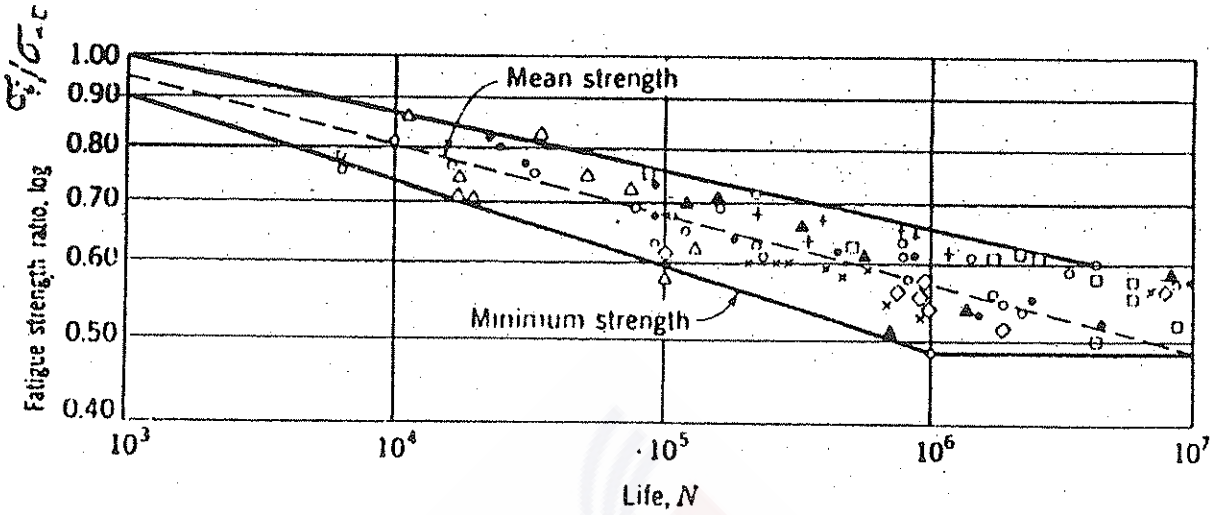
إن حـــد الاحـــتمال لـــلحديد الصب Cast-iron أقل من حد الاحتمال للفولاذ ويساوي تقريباً إلى:

$$\sigma_e = 0{,}4\sigma_{ut}$$

لقـــد عمد كثير من المصممين في الماضي إلى تصميم جميع أجزاء الآلات لحياة لا نهائية، إن هذا يدل على عدم فعالية لأن قليلاً من البحث يبين أن كثيراً من الأجزاء لا تتغير فيها الإجهادات هذا العدد من الهزات.

في الحقيقة من السهل تعيين مقاومة التعب σ_f التي تكافئ أية حياة محددة (N) من المخطط المبين بالشكل (17-2).

يبين هذا المخطط نتائج عدد كبير من اختبارات التعب، فالإحداثي الأفقي يمـــثل لوغـــارتم عدد الهزات (الحياة N) والإحداثي العمودي يمثل لوغارتم النسبة σ_f / σ_{ut} (نســـبة حياة التعب). من هذا المخطط نرى أن جميع المقاومات تقع على الخط Minimum strength أو وفقه.



الشكل (17-2)

عملـــياً يمكن القول إن كل جزء من آلة لا يزيد عدد هزاتها في حياتها عن (10^3) هـــزة يمكن أن تعامل كإحدى مسائل السكون. من هذا المخطط من السهل تحديد مقاومة التعب عند أي حياة محدودة.

ملاحظة هامة:

إن حـــد الاحتمال لأجزاء الآلات قد يكون مختلفاً اختلافاً كبيراً عن حد الاحتمال الذي حصلنا عليه في اختبار مور (R.R.Moore)، وهناك أسباب عديدة لهـــذا الاختلاف، فقد لا يكون سطح جزء الآلة مصقولاً (كما في عينة الاختبار) وقـــد تكـــون هناك عدة نقاط لتركيز الإجهادات في هذا الجزء أو أنها تعمل تحت درجات حرارة عالية... إلخ.

وننصـــح لمن يود الاطلاع بشكل مفصل عن هذا الموضوع الهام الرجوع للمرجع التالي:

Mechanical Engineering Design
JOSEPH EDWAED SHIGLEY
Mc Graw- hill – New York 1963