## ٢٥- عامل الأمان Factor of safety:

إن التعـــبير المـــألوف عامل الأمان هو من أكثر التعابير غموضاً وكثيراً ما يســـاء استعماله في تصميم الآلات. هناك عدة طرق للتعريف بهذا العامل ومعظمها ينحصر في المعادلتين التاليتين:

(١) معامل الأمان = إجهاد التلف أو التعطيل / إجهاد التصميم

$$f.s = \frac{\text{Damaging stress}}{\text{Design stress}} \qquad (1)$$

(٢) معامل الأمان = الحمولة القصوى المأمونة / الحمولة العادية المستعملة

$$f.s = \frac{\text{Maximun safe load}}{\text{Normal servics load}} \qquad (2)$$

إن المعادلة الأولى هي التعريف المألوف ومعظم أجزاء الآلات تصمم على أســـاس الإجهاد المسموح به، أما المعادلة الثانية فيلجأ لاستخدامها في الحالات التي يكـــون فيها المتانة والثبات Stability هما العاملين المهمين. من السهل تذكر الفرق بين التعرفين السابقين لعامل الأمان ولكن في حالات الشك في أيهما يجب استعماله فيجب أن نتذكر أننا نكون دائماً على صواب إذا استخدمنا النسبة بين الحمولات لتعيين قيمة عامل الأمان.

بمـــا أن المعادلتين تعطينا قيماً عددية لـــ (f.s) فإن الخط الشائع هو اعتبار الجـــواب الناتج صحيحاً بشكل مطلق، فهناك عوامل عديدة قد تجعل عامل الأمان الحقيقي يختلف عن عامل الأمان المحسوب.

**عامل الأمان مع الحمولات الساكنة:**

يقصد بالحمل الساكن أن الحمولة قد تتغير ببطء ولمرات قليلة بحيث أنه لا يحدث بسبب هذا التغير البطيء تعب أو صدم.

قـــبل اختيار عامل الأمان وتطبيقه يجب دراسة سلوك المواد المختارة تحت ظـــروف العمـــل المحـــددة، وهـــنا يجب التمييز بين المواد المطيلة القابلة للسحب Ductility (وهـــي الـــتي تســـتطيع أن تتحمل استطالة قدرها 5% قبل أن تنكسر ويدخـــل في عدادها خلائط الألمنيوم وخلائط النحاس... وهذه المواد لها الخاصية الأولى في الحمـــولات الســـاكنة) والمواد القصيفة أو الهشة Brittle (المادة الرئيسية المستعملة هي حديد الصب Cast iron).

عـــندما تتعرض قطعة مصنوعة من مادة مطيلة إلى حمولة كبيرة جداً فإنها تـــتجاوز مقاومة الخضوع Yield strength لهذه المادة تتشوه تشوهاً دائماً، حيث يؤدي هذا إلى نقصان إمكانية الاستفادة من القطعة في أداء واجبها الصحيح فتصبح عاطلـــة. إن الحمولـــة الكبيرة الثابتة تسبب تركزاً كبيراً في الإجهادات عند الزوايا الحـــادة والثقوب لكن هذا يخفف من جراء مطاوعة المادة للإجهاد في منطقة تركيز الإجهـــادات، ويمكنـــنا هذا من إمكانية التجاوز عن التغير البسيط في شكل القطع وبالـــتالي إهمـــال تركـــيز الإجهادات في القطع المصنوعة من المواد المطيلة (القابلة للسحب) والمعرضة للحمولات الثابتة ويكون في هذه الحالة عامل الأمان مساوياً:

$$f.s = \frac{\sigma_y}{[\sigma]} \qquad (55\text{-}2)$$

حيث :

[σ]: الإجهاد المسموح به.

$\sigma_y$ ($kg/cm^2$): مقاومة الخضوع، وتعطى من الجدول (25).

والاختيار الفعلي لعامل الأمان يعتمد على عوامل واعتبارات عديدة سنذكر بعضاً منها فيما بعد.

بالنسبة للمواد القصيفة فإنها لا تعطي تحذيراً مسبقاً (كأن تصل إلى حد المطاوعة قبل أن تنكسر) كما أن هذه المواد لا نستجيب للإجهادات المركزة عند الزوايا الحادة والثقوب.. لذا يجب استخدام عامل تركيز للإجهادات $K_t$ حيث :

$$[\sigma] = \frac{\sigma_u}{f.s} = K_t.\sigma \qquad (56\text{-}2)$$

$$f.s = \frac{\sigma_u}{K_t.\sigma}$$

حيث :

$\sigma_u$ : المقاومة القصوى Ultimate strength.

$K_t$ : عامل تركيز الإجهادات في الحمولات الساكنة.

نلاحظ أن عامل الأمان للمواد القصيفة تحت الحمولات الساكنة يستند إلى $\sigma_u$، أما بالنسبة للمواد المطيلة تحت نفس الشروط فيستند إلى $\sigma_y$. وللتعويض عن الفرق بين الاثنين فإن العرف المتبع لتصميم القطع المصنوعة من المواد القصيفة لحمولات ثابتة هو أن تستعمل عامل أمان يساوي ضعف العامل المستخدم في المواد المطيلة القابلة للسحب تحت نفس الشروط.

**عامل الأمان مع حمولات التعب:**

لا تجدي المطاوعة المحلية في تخفيف تأثير تركيز الإجهادات في الحمولات المتناوبة كما كان الحال في المواد المطيلة القابلة للسحب تحت الحمولات الساكنة لأن الانعكاس المستمر في اتجاه التشويه اللدن للمادة يؤدي إلى الكسر السريع للمادة

بحيث يظهر الشق بسرعة ووضوح، والشق الناتج هو نفسه مصدر للتركيز الشديد للإجهـــادات وسرعان ما يحدث التعطيل بالانكسار بعد هزات قليلة نسبياً. وبناءً عـــلى ذلك يجب أن يتضمن عامل الأمان للمواد القابلة للسحب والمواد الهشة تأثير تركيز الإجهادات، وعليه فإن عامل الأمان في هذه الحالة يساوي:

$$f.s = \frac{\sigma_e}{K_f \sigma} \qquad (57\text{-}2)$$

والإجهاد المسوح به يساوي :

$$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{f.s} \qquad (58\text{-}2)$$

$$[\sigma] = K_f . \sigma \qquad (59\text{-}2)$$

$\sigma_e$ : حد الاحتمال Endurance limite.

$K_f$ : عامل تركيز إجهادات التعب.

بصورة عامة يمكننا القول إن عامل الأمان هو حاصل ضرب أربعة عوامل رئيسية هي : a , b , c , d :

$$f.s = a.b.c.d$$

**العامل (a)** : هو نسبة المقاومة النهائية للمادة إلى حد المرونة :

a = 2 للمواد العادية.

a = 1-2 لفولاذ النيكل مثلاً.

**العامل (b)**: يعتمد على نوع الإجهاد داخل المادة ويساوي :

b = 1 للحمولات الساكنة.

b = 2 للحمولات التي تتراوح بين الصفر وقيمة عظمى.

b = 3 للحمولات التي تتراوح بين الشد والانضغاط بقيم متساوية.

**العامل (c)**: يعتمد على نوع الطريقة التي يطبق بموجبها الإجهاد:

c = 1 للحمولات المطبقة تدريجياً.

$c = 2$ للحمولات المطبقة فجأة.

$c > 2$ للحمولات المطبقة فجأة مع حدوث صدم.

**العـــامل (d)** : ويدعـــى بعامل الجهل الذي يأخذ بعين الاعتبار الظروف المجهولة كزيادة الحمولة فجأة أو رداءة المواد.... وتتراوح قيمته بين (1,5-3) وقد يرتفع إلى (10).

**مثال:**

إيجاد عامل الأمان لقضيب مكبس محرك بخاري :

الحد المرن يزيد قليلاً عن نصف المقاومة النهائية لذلك فإن: $a = 2$

القضيب في حالة شد وانضغاط بصورة متناوبة لذلك فإن : $b = 3$

البخار سيطبق بصورة مفاجئة تقريباً لذلك فإن : $c = 2$

المادة من نوع موثوق به لذلك فإن : $d = 1.5$

$$f.s = 2 . 3 . 2 . 1,5 = 18$$

الجـــدول رقـــم (7) يعطـــي قيم العوامل a، b، c، d، من أجل بعض التطبيقات الخاصة.

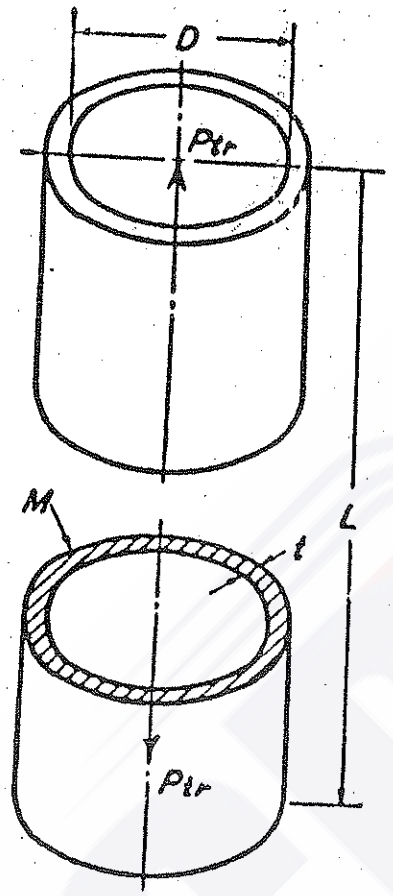
الجدول رقم (8) يعطي قيم العوامل a، b، c، d، حسب أنواع المواد.

الجـــدول رقـــم (9) يعطـــي قيم عوامل الأمان (f.s) للأغراض العامة حسب نوع الحمولة، وهو ما يمكن الاستعانة به كثيراً.

**٢٦- أوعية الضغط (الاسطوانات) Pressure vessel (Cylinders):**

تستخدم الأوعية الأسطوانية والأنابيب لنقل واختزان السوائل أو الأبخرة أو الغـــازات. وبما أن هذه الأوعية معرضة لضغط متساوي في جميع الجهات، لذا يجب أن تـــدرس (كما رأينا ذلك في مقاومة المواد) بحيث تتحمل هذا الضغط بأمان كي لا تنفجر مسببة أضراراً بشرية ومادية كبيرة.

١- المقطـــع العرضـــي Transverse section المـــبين بالشكل (18-2) هو المقطع العمودي على محور الاسطوانة.




الشكل (18-2)

وإذا كانت الأسطوانة مغلقة الطرفين،

فإن الحمل الكلي $P_{tr}$ الناتج عن الضغط الداخلي (للسائل أو الغاز) يساوي إلى :

$$P_{tr} = p.\frac{\pi.D^2}{4} \qquad (60\text{-}2)$$

حيث:

P : الضغط الداخلي على وحدة المساحة (ضغط السائل).

D: القطر الداخلي للأسطوانة.

يعمل الحمل $P_{tr}$ على استطالة الأسطوانة بصورة موازية لمحورها فتقاوم ألياف معدن الأسطوانة هذا التأثير وتساويه وضع التوازن

$$P_{tr} = A.\sigma_t = \pi.D.t.\sigma_t \qquad (61\text{-}2)$$

حيث :

A : المساحة المقاومة للشد.

$\sigma_t$ : إجهاد الشد في المقطع العرضي. Stress in transverses section

t : سماكة الأسطوانة .

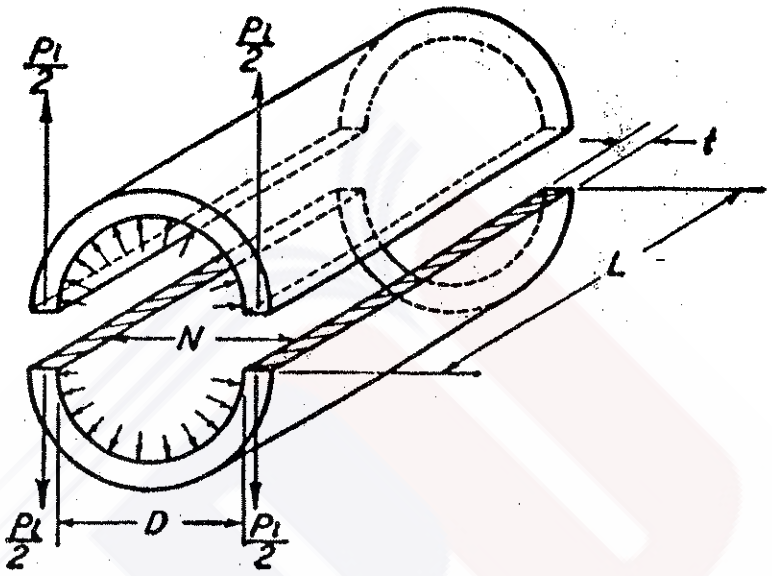
ومن مساواة العلاقتين (60-2) و (61-2) ينتج لدينا أن :

$$\sigma_t = \frac{P.D}{4.t} \qquad (62\text{-}2)$$

المقطـــع الطـــولي بالشـــكل (19-2)، نلاحظ أن سهم النصف قطرية تبين إمكانية انشطار الأسطوانة على طول هذا المقطع، الحمل الكلي ($P_t$) العمودي على المقطع

الطولي يمثل مجموع المركبات العمودية لضغط السائل الذي يعمل على نصف واحد من الأسطوانة ويساوي إلى :

$$P_L = p \cdot L \cdot D \qquad (63\text{-}2)$$




الشكل (2-19)

المساحة المقاومة للشد $A_L$ تساوي إلى :

$$A_L = 2 \cdot t \cdot L \qquad (64\text{-}2)$$

وحيـــث أن مقاومة الشد في المقطع الطولي يجب أن تساوي إلى الحمل الكلي المؤثر على هذا المقطع، فيكون :

$$P_L = A_L . \sigma_t = 2.t.L.\sigma_t \qquad (65\text{-}2)$$

من مساواة العلاقتين (2-63) و (2-65) ينتج لدينا أن :

$$\sigma_t = \frac{p.D}{2.t} \qquad (66\text{-}2)$$

$\sigma_t$ : إجهاد الشد في المقطع الطولي Stress in longitudinal section.

نلاحظ من العلاقتين (2-62) و (2-66) ما يلي:

١- إن حساب سماكة الأسطوانة (t) لا يتعلق بطولها في كلتا المعادلتين.

٢- الإجهـــاد في المقطـــع الطولي يساوي إلى الإجهاد في المقطع العرضي لذا تعتبر المعادلـــة (2-66) هـــي المعادلة التصميمية لإيجاد السماكة (t) في الاسطوانة الرقيقة الجدران التي يكون فيها $\frac{t}{D} \leq \frac{1}{10}$، وتكتب كالتالي :

$$t = \frac{p.D}{2[\sigma_t]} \qquad (67\text{-}2)$$

حيث : $[\sigma_t]$: هو الإجهاد المسموح به لمعدن الأسطوانة.

**ملاحظات :**

١- عند استخدام العلاقة (2-67) في تصميم المراجل المبرشمة فيجب تعديلها وذلك بإدخال مردود الوصلة (e) كعامل أمان، أي:

$$t = \frac{p.D}{2[\sigma_t]} . \frac{1}{e} \qquad (68\text{-}2)$$

٢- عـــند استخدام العلاقة (2-67) لتصميم المحرك فيضاف مقدار و mm (7-13) على قيمة (t) وذلك لإعادة خراطتها بعد تآكلها.

٣-يمكـــن استخدام العلاقة التجريبية التالية لإيجاد السماكة (t) في حالة الأسطوانة الثخينة Thick cylinders:

$$t = \frac{D}{2}\left(\sqrt{\frac{[\sigma_t]+0,4p}{[\sigma_t]+1,3p}} - 1\right) \qquad (69\text{-}2)$$

حيث :

t (cm) : سماكة جدار الأسطوانة.

D (cm) : القطر الداخلي للأسطوانة.

$[\sigma_t](kg.cm^2)$ : الإجهاد المسموح به.

$P\ (kg/cm^2)$ : ضغط السائل.

مـــن المفضـــل العودة دائماً إلى الجداول القياسية التي تصدرها الشركات العالمـــية المتخصصـــة لاختبار الأبعاد العملية الصحيحة للأسطوانات والمراجل وفق الإجهادات الناشئة عن الضغوط المتعرضة لها.

**تنبيه :**

ننصـــح الطالـــب بالعودة إلى الفصل الثالث عشر من هذا الكتاب حيث المسائل المحلولة وغير المحلولة لمواضيع هذا الفصل.