

الباب التاسع

اختيار عامل الامان لاجهادات التصميم

تسبب لإجهادات الشد والضغط والقص من القوى الداخلية المؤثرة على جزيئات المنشآت والمسكنات نتيجة تأثير القوى الخارجية أثناء التشغيل لذلك تعتبر اختبارات الشد والضغط والقص اختبارات هامة للمهندس لكي يحدد نوع المادة التي يختارها للمنشأة ولكي يتحكم في جودة المواد المصنعة .

وتجرى اختبارات الشد والضغط والقص للمواد لتعيين خواصها على عينات بأبعاد قياسية مأخوذة من الوحدات المصنعة مثل المطروقات بأشكالها المختلفة ومعاور الدوران إلخ .

ولما كان المعدن الواحد غير متجانس تماماً في الوحدات المختلفة وكذلك في الوحدة الواحدة من مكان إلى آخر فإن نتائج اختبار العينات قد لا تمثل تماماً خواص جميع الوحدات المصنعة خصوصاً وأن للصنعية وظروفها تأثير مباشر على تلك الخواص الأمر الذي قد يجعل العينة المختبرة المأخوذة من وحدة معينة يختلف عن معدن بعض الوحدات الأخرى التي تستخدم في الأعمال الهندسية ، كما أن التحميل الفعلي قد يختلف في كميته ومقداره ومدى تأثيره على الأحمال التصميمية وعلى أحمال الاختبارات العملية بالإضافة إلى احتمال تواجد عيوب غير متوقعة ببعض الوحدات . لذلك فإن لإجهادات التصميم يلزم أن تكون أقل من الاجهادات المعينة معملياً على عينات الاختبار لكي توفر للمنشآت والمسكنات الامان طوال مدة التشغيل .

وتشمل مواصفات التصميم للإلشاءات وأجزاء المسكنات على إجهادات التصميم في الشد أو الضغط البسيط وذلك إلى جانب بعض القيم الأخرى ، وتؤخذ هذه القيم لاجهادات التصميم إما على أساس الاجهاد الأقصى للسادة أو على أساس إجهاد

الخضوع لها وذلك للواد المطيعة ، كما تؤخذ قيمة إجهاد التصميم على أساس المقاومة القصوى للواد القصفة .

وإجهاد التشغيل أى الإجهاد التصميمى يساوى إجهاد الخضوع أو الإجهاد الأقصى مقسوماً على عدد يسمى « عامل الأمان » أى أن إجهاد التشغيل هو :

$$f_w = \frac{f_v}{N} \quad \text{or} \quad f_w = \frac{f_u}{N}$$

$f_n =$ الإجهاد الأقصى .

ويعتبر تحديد عامل الأمان من أهم الخطوات التى يجب دراستها ويحسن ألا تكون قيمة كبيرة جداً . فإذا كانت قيمة عامل الأمان عالية جداً ، أصبحت قيمة إجهاد التصميم منخفضة وعلى ذلك يصبح المنشأ أو جزء المسكنة أكبر من المطلوب كثيراً وبالتالي غير اقتصادى . ومن جهة أخرى إذا اختير عامل أمان منخفض القيمة جداً أصبح إجهاد التصميم كبيراً جداً وبالتالي قد لا تكون أعضاء المنشأ المصنعة آمنة بالقدر الكافى ، وعند اختيار قيمة عامل الأمان يجب أن يؤخذ فى الإعتبار تأثيرات العوامل المختلفة التى تؤثر فيه .

اختيار عامل الأمان :

يتضمن اختيار عامل الأمان (N) عدة اعتبارات ويجب أن يقوم التشغيل السابق لأى مادة فى منشأ أو مكتبة بدور هام فى هذا الاختيار . ومن المهم أن يكون تقدير عامل الأمان تقدير منطقي كلما أمكن ذلك ومن المفنزل فصل مختلف العوامل التى تؤثر على اختيار قيمة « عامل الأمان » ، فإذا كانت $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$ عبارة عن القيم العددية لكل عامل من هذه العوامل فإن عامل الإمان النهائى عبارة عن :

$$N = N_1 \times N_2 \times N_3 \times \dots \times N_n$$

ولايجاد تقدير لقيمة عامل الأمان يجب إدخال العوامل الآتية فى الاعتبار :

١ - عوامل المادة (N_1, N_2, N_3)

تأخذ هذه العوامل في الاعتبار التغيرات في إجهاد المقاومة (f)، وكذلك الفروق بين اختبارات المعمل التي تعين منها قيمة (f) وظروف التشغيل في الطبيعة ، وتعتمد التغيرات المحتملة في المقاومة على طريقة الصناعة ، واتقان الاختبار والتفتيش وطبيعة المادة ذاتها، ويمكن تقدير عدم التجانس التقريبي بأخذ سماح معقول لعامل الأمان ، فإذا كان التغير المنتظر في المقاومة $K_v, f =$ فإن عامل تغير المادة N_1 يصبح :

$$N_1 = \frac{f + K_v f}{f} = 1 + K_v$$

ويمكن أن تأخذ المقاومة عدة قيم مختلفة تبعاً لحالة الإجهاد الموجود ونوع التحميل وظروف إجهادات الكلال (Fatigue Stresses) وعند وجود شروخ في الأجزاء حيث يجب أخذ قيمة كبيرة للعامل K_v وذلك بسبب طبيعة انهيارات الكلال .

ويسمح عامل المادة N_2 بالفروق بين مقاومة المادة في اختبارات المعامل ومقاومة المنشأ الكامل ويعتبر هذا العامل من أصعب العوامل تقديراً . فإذا اعتبرت في تقدير قيمة إجهاد المقاومة (f) طريقة التحميل كذلك تأثير الإجهادات المركبة (Combined Stresses) فإن ذلك يمكن من تقدير قيمة العامل N_2 . في تصميم بعض أجزاء المنشأ أو المسكنات يؤخذ في الاعتبار أضعف نقطة في الجزء بينما الأجزاء المجاورة لا تصل الإجهادات فيها للقيم القصوى لإجهادات المادة مثل كثير من حالات المواد المطيعة تحت تأثير التحميل الاستاتيكي .

وعلى سبيل المثال فإن حدوث الخضوع في ثقب مسمار برشام تحت ظروف التحميل الاستاتيكي لا يعتبر خطيراً وذلك بسبب إعادة توزيع الإجهادات بحيث تزيد الإجهادات في النقط التي تكون فيها الإجهادات منخفضة ، كذلك تقل الإجهادات في النقط المجهدة عالياً . فإذا لم يدخل تركيز الإجهادات (Stress Concentration) في الاعتبار عند تحديد المقاومة ، فيجب اتخاذ عامل سماح لذلك . ويمكن أخذ هذا السماح في

بعض الأحيان على أساس اختبارات معملية فإذا استوفيت الاعتبارات السابقة بالعامل K_c فإن عامل المادة N_2 يصبح :

$$N_2 = \frac{f + K_c \cdot f}{f} = 1 + K_c$$

ويؤخذ عامل ثالث N_3 يطبق على التحميل الاستاتيكي والمواد المطيعة فقط ويأخذ هذا العامل في اعتباره التغير في نسبة إجهاد الخضوع (f_y) إلى الإجهاد الأقصى (f_u) للواد المطيعة . وتوجد طريقة تقريبية لتقدير العامل N_3 كما في المعادلة الآتية .

$$N_3 = \frac{f}{y - (f_u - y)} = 2 - K_u$$

$$K_u = \frac{f_u}{y} \text{ حيث}$$

٢ - عامل الاحمال (N_4)

لا يعتبر الحمل الحقيقي على المنشأ أو جزء المكنة هو ذلك المأخوذ في التصميم لأن المقدار والتوزيع كذلك طريقة التحميل يمكن تقديرها تقريباً فقط غير أنه في كثير من المسائل يمكن تقدير تغيرات الاحمال عن تلك المفترضة في التصميم في حالة أحمال الصدم يمكن تقدير أحمال استاتيكية مكافئة ، ويمكن أيضاً تقدير تأثير التغيرات الممكنة في توزيع الاحمال عن تلك المفترضة في التصميم ؛ كذلك يمكن إيجاد التغيرات في الاجهادات الناتجة عن التغيرات المحتملة في الاحمال . فإذا كانت قيمة التغير في الاجهادات عند النقطة المرجحة $= k_1 \times f_w$ فإن العامل N_4 يصبح :

$$= \frac{w + f_w}{w} = 1 + K_1$$

حيث $k_1 =$ تغير الاجهاد نتيجة التغير المحتمل في الاحمال مقسوماً على إجهاد التشغيل

٣ - عامل تعميل الاجهادات N_5

تعتبر طريقة تحليل الاجهادات في كثير من مسائل التصميم غير مناسبة أو بالأحرى تقريبية . فالطرق المستعملة في تحديد الاجهادات مبنية على فروض خاصة

بسلوك المادة وتأثيرات الأحمال، وحتى تحت الظروف التي يمكن فيها افتراض تأثير الأحمال الاستاتيكية وقانون هوك ، نجد أن لنظرية المرونة عدة تعديلات وبذلك تعتبر قيمة الإجهادات المحسوبة تقريبية، وعندما تتواجد ظروف اهتزازات أو عدم اتزان ويخشى من الانهيار نتيجة الانبعاج (Buckling) فيجب على المصمم إما تحليل هذه التأثيرات أو احتسابها ضمن عامل الأمان. ففي كثير من المسائل يمكن إيجاد عامل تحليل الإجهادات بدقة وذلك بتحسين طريقة حساب هذه الإجهادات . ويمكن عمل ذلك بتطبيق نظرية أدق مثل نظرية المرونة أو إجراء طريقة تجريبية لتحليل الإجهادات. وقد ساعدت عدة طرق في هذه الناحية من ضمنها طريقة تعيين الإجهادات بالمرونة التصويرية (Photoelasticity) كذلك طريقة مقاييس الانفعال الوردية (Strain rosette) وأيضاً الطلاء المين للإجهادات (Stress Coat) .

$$N_6 = \frac{f + k_a f}{t} + k_m$$

٤ - عامل الصناعة N_6

في بعض اجزاء المسكنات التي يوجد بها تغير في الأبعاد كذلك في بعض الحالات الأخرى التي لا يوجد بها هذا التغير ، لا تنطبق الأبعاد الحقيقية للأجزاء على تلك المفروضة في التصميم . ويمكن تلافي هذا الخطأ باختيار عامل تصنيع مناسب ، وتعتبر تغير الخواص الأساسية للمادة كذلك الإجهاد المبدئي المتولد عن طريقة الصناعة أهم في هذه الناحية من تغيرات الأبعاد . فبعض العمليات مثل ثقب الألواح لإدخال مسامير البرشام أو ثقب وطرق بعض الأجزاء ، هذه العمليات تضعف المادة وتولد إجهادات ابتدائية . وفي بعض الأحيان قد تختلف نتائج المعالجة الحرارية لعينة المعمل عن مثيلاتها إذا أجريت على جزء من مكنة . ففي المنشآت الضخمة المجمعة باللحام وكذلك في السفن لا يمكن إجراء عملية إزالة الإجهادات (Stress Relieving) الناتجة من تأثير عملية اللحام وبالتالي فإن إجهادات عالية ناشئة عن الانكماش قد تتولد في هذه المنشآت .

وفي بعض الأحيان يمكن التحكم في تأثيرات عمليات التصنيع المختلفة وكذلك يمكن تقدير تأثيرها على المواد بدرجة من الدقة معقولة ، فإذا كان عامل التصنيع N_6 فإن

عامل الأمان الخاص بالتصنيع يصبح :

$$N_6 = \frac{f_w + k_i f_w}{f_w} = 1 + k_i$$

وتتوقف قيمة N_6 على إجهادات التصميم f_w وذلك لأن قيمة العامل k_i تؤخذ على أساس إجهاد التصميم .

• عامل الزمن N_7

يتضمن هذا العامل تأثير الظروف الخارجية في تغير خواص المواد حيث أن تحلل مادة معينة مع الزمن مثل صدأ الحديد أو تلف الأخشاب بالرطوبة ستغير قيمة عامل الأمان المستعمل ، فمن هذه الناحية تتأثر قيمة عامل الأمان الخاص بالزمن بالقيمة المقدرة لعمر المنشأ كذلك طريقة الصيانة ويوجد أيضاً عامل زمن آخر يؤخذ في الاعتبار عند تعيين قيمة المقاومة (f) وهو تأثير الزحف (Creep) في درجات الحرارة العادية والمرتفعة . فالزحف وهو استمرار التغير اللدن في الشكل مع الزمن يحدث بالنسبة للرصاص وبعض السبائك الأخرى في درجات الحرارة العادية . وفي درجات الحرارة المرتفعة يلعب الزحف دوراً هاماً في إختيار إجهادات التصميم وتظهر هذه الحقيقة بوضوح في حالة المعدات اللازمة لتكرير الزيت والتربينات كذلك الصناعة الأتوماتيكية . ويمكن الحصول على بعض البيانات لتقدير قيمة عامل الزمن (N_7) وذلك بالنظر إلى ظروف التشغيل وكذلك من واقع اختبارات ميكانيكية على أجزاء ظلت تحت التشغيل لسنين عديدة . فقد أفادت اختبارات المعمل في تقدير تأثيرات الزمن على المقاومة وذلك في بعض المسائل العملية . وأجريت مثلاً دراسات على تأثير صدأ الحديد على درجة مقاومة الكلال وبالنظر إلى الاعتبارات السابقة ، إذا كان عامل التصحيح الزمني k_t فإن قيمة عامل الأمان الخاص بالزمن يصبح :

$$N_7 = \frac{f + K_t f}{f} = 1 + K_t$$

٦ - عامل الانهيار N_8

عند تحديد قيمة عامل الأمان فإن اعتبارات ظروف لحظة الانهيار ذات شأن كبير

فإذا كان من نتائج الانهيار انتهاء عمر المنشأ فإنه بالطبع ينزم اتخاذ قيمة أعلى لعامل الأمان . وإذا كان الانهيار سيتسبب في فقد بعض الخواص القيمة أو تعطيل كبير لعمليات الإنتاج فإنه يجب في هذه الحالة إختيار عامل أمان مناسب ، ومن ناحية أخرى إذا كان الانهيار عبارة عن تعطيل تشغيل مكنة منخفضة الثمن وجيزة فإن عامل الأمان الخاص بالانهيار يصبح منخفضاً وفي بعض الأحيان يجب اتخاذ احتياطات خاصة لتلاقي الأخطار عند حدوث الانهيارات فمثلا التسليح الحلزوني في الأعمدة (Spiral steel reinforcement) يعتبر من ضمن الأمثلة التي يندمج عن انهيارها أخطار رهيبية . أما في حالة المواد المطيعة مع التحميل الإستاتيكي فإن عملية الخضوع تسبب إعادة توزيع الإجهادات وهذا يعطى ضمان مناسب ضد الانهيار . وفي المكنتات يمكن تعيين عامل الانهيار (N_8) على أساس الخبرة السابقة بشأن ظروف انهيارات سابقة لمكنتات مائة وبالتالي فإن عامل الانهيار يصبح :

$$N_8 = \frac{f_w + k_r f_w}{f_w} = 1 + k_r$$

وقد توجد بعض العوامل الأخرى التي لم تذك في المناقشة السالفة لذلك يمكن تطوير العامل N_8 للملاءمة هذه الظروف غير الاعتيادية .

وبالنظر إلى الاعتبارات السالفة فإن محصلة عامل الأمان (N) تصبح :

$$N = N_1 \times N_2 \times N_3 \times N_4 \times N_5 \times N_6 \times N_7 \times N_8$$

فبالتعويض عن قيمة N_1 ، N_2 ، N_8 من المعادلات السابقة في المعادلة الأخيرة يكون عامل الأمان N :

$$N = (1 + k_v) (1 + k_c)^{(2-k_a)} (1 + k_1) (1 + k_a) (1 + k_i) (1 + k_r) (1 + k_r)$$

حيث k_v = عامل تغيير المواد .

k_c = عامل إجهاد المواد .

- k_n = نسبة إجهاد الخضوع إلى الإجهال الأقصى في حالة الشد الإستانبكي .
 k_I = عامل تغير الأحمال .
 k_a = عامل تحليل الاجهادات .
 k_f = عامل التصنيع .
 k_r = عامل الزمن .
 k_T = عامل الإنهيار .

ولا يزال هناك بعض قطغ غير مؤكدة في تعيين عامل الأمان في المعادلة السابقة ولكن الطريقة السابقة الموضحة تعتبر منطقية وتؤدي إلى تعيين قيمة أدق كثيرًا ويجب على المصمم أن يعتمد على الخبرة السابقة لظروف التشغيل السالفة لتصميم المائل وذلك عند تحديد عامل أمان للتصميمات التي يقوم بها . وتتراوح قيم الأمان في مدى واسع فيؤخذ مثلاً عامل أمان للصلب الإنشائي تحت ظروف التحميل الإستانبكي بالقيمة ٢ ويؤخذ للخشب تحت ظروف التحميل الديناميكي ١٥ أو ٣٠ .

وقد يسمح اختيار عامل الأمان المناسب بعيداً عن متناول المهندس المصمم فكثير من الشركات والتنظيمات كذلك الجمعيات الهندسية نصت على قيم لإجهادات التصميم ضمن مواصفات التصميم . ففي تصميم المباني قامت الهيئات العلمية بإنشاء مناهج خاصة بها تعطى قيم لإجهادات التصميم وقيم الأحمال لاستعمالها في الحالات المحددة ، ولكن بالنسبة لتصميم المسكنات لا توجد مواصفات التصميم الخاصة بها مثل المباني وقد يرجع ذلك إلى تعدد المواد المستعملة وظروف التحميل وطبيعة الأعضاء التي نواجهها في تصميم المسكنات .

المراجع

(References)

- 1 — Withy and Aston « Johnson's Materials of Construction John Wilay & sons. N. Y, U.S.A.
- 2 — Davis, Trozell & Wiskoncil «Testing and Inspection of Engineering Materials » Mc. Graw Hill Co ; N.Y. U S A
- 3 — Judge «Engineering Materials» vol. III. Pitman & sons Ltd. London.
- 4 — Lesels «Strength & Resistance of Materials » John Wiley & sons N.Y. U.S.A.
- 5 — Yehya, El - Said, Ata, El-Erian « A Manual in the Testing of Materials » U.A.R.
- 6 — Beaumont « Mechanical Testing of Materials » Pitman & sons Ltd. London.
- 7 — Muhlebruch «Experimental Mechanics and Properties of Materials D, Van Nostrand Co. N.Y., U.S.A.
- 8 — Gilky, Murphy and Bergman « Materials Testing » Mc. Graw Hill, N.Y., U.S.A,
- 9 — Tucker « A Manual in The Testing of Materials » International text book Co., Pennsylvania, U.S.A.
- 10 — Foster « The mechanical Testing of Metals and Alloys » Pitman & sons. London
- 11 — Kempster « Materials for Engineers » English Universitiess Press. London.
- 12 — Byars & Snyder «Engineering Mechanics of Deformable Bodies » International text book, Co., Pennsylvania, U.S.A.
- 13 — Singer « Strength of Materials » Harper international Student reprint, N,Y. U.S.A.
- 14 — Den Hartog « Strength of Materials. » Mc. Graw Hill Co. N Y U.S.A.
- 15 — Tabor « The hardness of Metals » Oxford Prese. London.

- 16 — Lea « Hardness of Metals » Charles Griffin & Co. London.
- 17 — Circular C 447, National Bureau of standards. « Mechanical Properties of Metals and Alloys » U.S.A. government printing office, Washington D C ,U.S.A
- 18 — C W Richards « Engineering Materials Science » Chapman & Hall London.
- 19 — M. Nerd « Text book of Engineering Materials » John Wiley & sons U.S.A.
- 20 — L Van Vlack « Elements of Materials Science » .Edison-Wesely Co Jsc. London.
- 21 — K A Heles «Experimental Strength of Materials» The English Universities Press Ltd. London.
- 22 — M Hetenyi « Handbook of Experimental Stress Analysis» John-Wiley & sons N Y , U. S.A.
- 23 — G. H Lee «An Introduction to Experimental Stress Analysis » John wiloy & sons, N Y U.S.A.
- 24 — M Moore «Principles of Experimental stress Analysis» Printice-Hall, N.Y.U.S A
- 25 — W. Dobie & P. Isaac « Electric Resistance Strain Gauges » The-English Universities Press Ltd. London.
- 26 — J.W. Sullivan «The Story of Metals» The American Society of Metals, Cleveland Ohio, U S.A,
- 27 — W. Alexander and A. Street «Metals in the Service of Man » Penguin Books Pty Ltd London.
- 28 -- J. Marin « Mechanical Properties of Engineering Materials » Printice Hall, N.Y.U.S.A
- 29 — المواصفات القياسية م.ق ، ١٧٦ / ١٩٦٢ ، « اختبار الشد للمعادن ،
الهيئة المصرية للتوحيد القياسي ووزارة الصناعة ج.م.ع
- 30 — المواصفات القياسية م.ق ١٣٧ / ١٩٦١ ، « صلادة المعادن بطريقة برنل ،
الهيئة المصرية للتوحيد القياسي — وزارة الصناعة ج.م.ع