الباب التاسع

اختيار عامل الامان لاجهادات التصميم

تتسبب إجهادات الشد والضغط والقص من القوى الداخلية المؤثرة على جزيئات المنشآت والمكنات نتيجة تأثير القوى الخارجية أثناء التشغيل لذلك تعتبر اختبارات الشد والضغط والقص اختبارات هامة للمهندس لكي يحدد نوع المادة التي يختارها لمنشآته ولكي يتحكم فى جودة المواد المصنعة .

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

ولما كان المعدن الواحد غير متجانس تماماً فى الوحدات المختلفة وكذلك فى الوحدة الواحدة من مكان إلى آخر فإن نتائج اختبار العينات قد لا تمثل تماماً خواص جميع الوحدات المصنعة خصوصاً وأن للمصنعية وظروفها تأثير مباشر على تلك الخواص الأمر الذى قد يجعل العينة المختبرة المأخوذة من وحدة معينة تختلف عن معدن بعض الوحدات الأخرى التى تستخدم فى الأعمال الهندسية ، كما أن التحميل الفعلى قد يختلف فى كيفيته ومقداره ومدى تأثيره على الأحمال التصميمية وعلى أحمال الاختبارات المعملية بالاضافة إلى احتمال تواجد عيوب غير منظورة ببعض الوحدات . لذلك فإن إجهادات التصميم يلزم أن تكون أقل من الاجهادات المعينة معملياً على عينات الاختبار لكي توفر للمنشآت والمكنات الأمان طوال مدة التشغيل .

وتشمل مواصفات التصميم للإنشاءات وأجزاء المكنات على إجهادات التصميم فى الشد أو الضغط البسيط وذلك إلى جانب بعض القيم الأخرى ، وتؤخذ هذه القيم لاجهادات التصميم إما على أساس الاجهاد الأقصى للمادة أو على أساس إجهاد

الخضوع لها وذلك للمواد المطيلة ، كما تؤخذ قيمة إجهاد التصميم على أساس المقاومة القصوى للمواد القصفة .

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

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

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 المكنة أكبر من المطلوب كثيراً وبالتالى غير اقتصادى . ومن جهة أخرى إذا أختير عامل أمان منخفض القيمة جداً أصبح إجهاد التصميم كبيراً جداً وبالتالى قد لا تكون أعضاء المنشأ المصممة آمنة بالقدر الكافى ، وعند اختيار قيمة عامل الأمان يجب أن يؤخذ فى الإعتبار تأثيرات العوامل المختلفة التى تؤثر فيه .

اختيار عامل الامان :

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

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

ولا يجاد تقدير لقيمة عامل الامان يجب إدخال العوامل الآتية فى الاعتبار :

١ — عوامل المادة (N_1 , N_2 , N_3)

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

$$N1 = \frac{f + K_v . f}{f} = I + K_v$$

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

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

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

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

$$N_2 = \frac{f + K_{c.f}}{f} = 1 + K_c$$

ويؤخذ عامل ثالث N_3 يطبق على التحميل الاستاتيكى والمواد المطيلة فقط ويأخذ هذا العامل فى اعتباره التغير فى نسبة إجهاد الخضوع (f_y) إلى الاجهاد الأقصى (f_u) للمواد المطيلة . وتوجد طريقة تقريبية لتقدير العامل N_3 كما فى المعادلة الآتية ·

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

حيث $k_u = \frac{f_u}{f_y}$

٢ — عامل الاحمال (N_4)

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

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

حيث k_1 = تغير الاجهاد نتيجة التغير المحتمل فى الأحمال مقسوماً على إجهاد التشغيل

٣ — عامل تحليل الاجهادات N_5

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

بسلوك المادة وتأثيرات الأحمال، حتى تحت الظروف التى يمكن فيها افتراض تأثير الأحمال الاستاتيكية وقانون هوك ، نجد أن لنظرية المرونة عدة تحديدات 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. فى كثير من المسائل يمكن إيجاد عامل تحليل الاجهادات 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 فى هـــذه الناحية من ضمنها طريقة تعيين الإجهادات بالمرونة التصويرية (Photoelasticity) كذلك طريقة مقاييس الانفعال الوردية (Strain rosette) وأيضاً الطلاء المبين للاجهادات (Stresas Coat) .

$$N_5 = \frac{f + k_a f}{t} 1 + k_a$$

٤ — عامل الصناعة N_6

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

وفى بعض الأحيان يمكن التحكم فى تأثيرات عمليات التصنيع المختلفة وكذلك يمكن تقدير تأثيرها على المواد بدرجة من الدقة معقولة ، فإذا كان عامل التصنيع k_a 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 فى 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 فى الاعتبار عند تعيين قيمة المقاومة (f) وهو تأثير الزحف (Creep) فى درجات الحرارة العادية والمرتفعة . فالزحف وهو استمرار التغير اللدن فى الشكل مع الزمن يحدث بالنسبة للرصاص وبعض السبائك الأخرى فى درجات الحرارة العادية . وفى درجات الحرارة المرتفعة يلعب الزحف دورا هاما فى إختيار إجهادات التصميم وتظهر هذه الحقيقة بوضوح فى 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 فى تقدير تأثيرات الزمن على المقاومة وذلك فى بعض المسائل العملية . وأجريت مثلا دراسات على تأثير صدأ الحديد على درجة مقاومة الكلال وبالنظر إلى الاعتبارات السابقة ، إذا كان عامل التصحيح الزمنى 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 يلزم اتخاذ قيمة أعلى لعامل الأمان . وإذا كان الانهيار سيتسبب فى فقد بعض الخواص القيمة أو تعطيل كبير لعمليات الانتاج فإنه يجب فى 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 وفى بعض الأحيان يجب اتخاذ احتياطات خاصة لتلافى الأخطار عنـــد حدوث الانهيارات فمثلا التسليح الحلزونى فى الأعمدة (Spiral steel reinforcment) يعتبر من ضمن الأمثلة التى ينجم عن انهيارها أخطار رهيبة . أما فى حالة المواد المطيلة مع التحميل الإستاتيكى فإن عملية الخضوع تسبب إعادة توزيع الإجهادات وهذا يعطى ضمان مناسب ضد الانهيار . وفى المكنات يمكن تعيين عامل الانهيار (N_8) على أساس الخبرة السابقة بشأن ظروف انهيارات سابقة لمكنات مماثلة وبالتالى فإن عامل الانهيار يصبح :

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

وقد توجد بعض العوامل الأخرى التى لم تذكر فى المناقشة السالفة . لذلك يمكن تطوير العامل N_8 لملاءمة 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 فى المعادلة الأخيرة يكون عامل الأمان N :

$$N = (1+k_v)(1+k_c)(2-k_n)(1+k_l)(1+k_a)(1+k_i)(1+k_t)(1+k_r)$$

حيث k_v = عامل تغيير المواد .

k_c = عامل إجهاد المواد .

k_n = نسبة إجهاد الخضوع إلى الإجهاد الأقصى فى حالة الشد الإستاتيكى .

k_I = عامل تغير الأحمال .

k_a = عامل تحليل الاجهادات .

k_f = عامل التصنيع .

k_t = عامل الزمن .

k_r = عامل الإنهيار .

ولا يزال هناك بعض نقط غير مؤكدة فى تعيين عامل الأمان فى المعادلة السابقة ولكن الطريقة السابقة الموضحة تعتبر منطقية وتؤدى إلى تعيين قيمة أدق كثيراً ويجب على المصمم أن يعتمد على الخبرة السابقة لظروف التشغيل السالفة للتصميم المماثل وذلك عند تحديد عامل أمان للتصميات التى يقوم بها . وتتراوح قيم الأمان فى مدى واسع فيؤخذ مثلا عامل أمان للصلب الإنشائى تحت ظروف التحميل الإستاتيكى بالقيمة ٢ ويؤخذ للخشب تحت ظروف التحميل الديناميكى ١٥ أو ٣٠ .

وقد يسمح اختيار عامل الأمان المناسب بعيدا عن متناول المهندس المصمم فكثير من الشركات والتنظيمات كذلك الجمعيات الهندسية نصت على قيم لإجهادات التصميم ضمن مواصفات التصميم . فى تصميم المبانى قامت الهيئات العلمية بإنشاء مناهج خاصة بها تعطى قيم إجهادات التصميم وقيم الأحمال لاستعمالها فى الحالات المحددة ، ولكن بالنسبة لتصميم المكنات لاتوجد مواصفات التصميم الخاصة بها مثل المبانى وقد يرجع ذلك إلى تعدد المواد المستعملة وظروف التحميل وطبيعة الأعضاء التى نواجهها فى تصميم المكنات .

المراجع

(References)

1 — Withy and Aston « Johnson's Materials of Construction John Wilay & sons. N. Y, U.S.A.

2 — Davis,Troxell & Wiskoncil «Testiug and Inspection of Engineering Materils ». 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 — Muhlenbruch «Experimental Mechanics and Properties of Materials D, Van Nostrand Co. N.Y., U.S.A.

8 — Gilky, Murphy and Bergman « Materials Testiug » 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 Engineere » English Univérsities Press. London.

12 — Byars & Snyder «Engineering Mechanics of Deformable Bodies » International text book, Co., Pennsylvenia, U.S.A.

13 — Singer « Strength of Materials » Harper international Student reprint, N,Y, U.S.A.

14 — Den Hartog « Strength of Mareials. » 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 Matrials Science » Chapmna & Hall London.

19 — M. Nord « Text book of Engineering Materials » John Wiley & sons U.S.A.

20 — L Van Vlack « Elements of Materials Science » Addison-Wesely Co Inc. London.

21 — K A Heise «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 wiley & 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. Isac « Electric Resistance Strain Gauges» The English Universities Press Ltd. London.

26 — J.W· Sullvan «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 القياسى وزارة الصناعة ج . م . ع

30 — المواصفات القياسية م . ق ١٣٧ / ١٩٦١ « صلادة المعادن بطريقة برنل »
الهيئة المصرية للتوحيد القياسى — وزارة الصناعة ج . م . ع .