الفصل الأول

١ ـ ١ ـ مسائل مقاومة المواد وطرائقها :

تؤثر الحمولات الخارجية في المنشآت والآلات أثناء عملها • مثلا تؤثر في قوائم الجسر الذي تمر عليه قطارات السكة الحديدية أوزان القطارات التي تمر عليها وكذلك الوزن الذاتي للجسر وكما تؤثر في ذراع المكبس في محرك السيارة قوة ضغط الغازات في الاسطوانة • لذلك وكي تتمكن المنشآت والآلات وقطع مختلف التصاميم من أن تتحمل الحمولات الخارجية المطبقة عليها دون أن تتحطم أو تتشوه بشدة • يجب أن تصنع من المواد المناسبة وبالمقاييس المناسبة وتتحد هذه المقاييس بالحساب •

يسمى العلم الذي يدرس أسس ومبادىء حساب متانة القطع والتصاميم علم مقاومة المواد •

ان تحديد مقاييس الجسم المصمم يتم مع وضع خواص المادة المقترحة للتصميم في الحسبان • وكي يتم اختيار المادة بشكل منطقي واستخدام خواصها بشكل كامل ، يجب أن تتوافر معلومات شاملة عن خواص مختلف مواد البناء والآلات (الفولاذ الحديد الصب ، الخشب) ، والاهم هنا هي المعلومات التي تحدد متانة المادة أي قدرتها على مقاومة الحمولات الخارجية دون أن تتحطم •

لقد وجدت الابحاث التجريبية لاختبار متانة المواد انتشارا واسعا ونشير هنا الى أن علم مقاومة المواد يرتبط من جهة بعلم سلوك المواد واختبارها ومن جهة أخرى يرتبط بعلم الميكانيك النظري •

Scanned by CamScanner

يستند علم مقاومة المواد الى قوانين ونظريات علم الميكانيك النظري ويستخدمها طالما لا تتناقض مع مبادىء وأسس مقاومة المواد . ويوجد في علم مقاومة المواد مفاهيم اضافية .

أهم المفاهيم في مقاومة المواد مفهوم التشوه ومفهوم الاجهاد ، ينظر في علم الميكانيك النظري الى الاجسام وكأنها مطلقة أي أن ابعادها لا تتغير بتأثير الحمولات المطبقة عليها مع العلم ان جميع المواد بتأثير الحمولة المطبقة عليها تتشوه ، وأن تشوه الاجسام بتأثير الحمولة الخارجية يعد من أهم خواصها ومن جهة أخرى فان الاجسام الصلبة تملك صفة مقاومة تغيير التوضع النسبي لذراتها . وهذا ينشأ بسبب ظهور عناصر داخلية ضمن الاجسام تقاوم تشوها وتحاول اعادة الذرات وابقائها مكانها . هذه العناصر تسمى العناصر الداخلية أو عناصر المرونة . والاجسام المرنة هي تلك الاجسام التي يزول التشوه الحاصل فيها بزوال الحمولة المسببة لذلك التشوه

الاجسام المرنة تماما هي تلك الاجسام التي يزول التشوه الحاصل فيها كاملا بعد زوال الحمولة الخارجية المسببة للتشوه ، نشير الى أنه لا يوجد في الطبيعة أجسام مطلقة المرونة ولا أجسام مطلقة اللدونة ، مع أن بعض المواد مثل الفولاذ ، الخشب وغيرها تقترب بخواصها كثيرا من الاجسام مطلقة المرونة ولكن هذه المواد تفقد هذه الصفة عندما تصل الحمولة عليها الى حدود معينة تتحدد بالتجربة وبتجاوز هذه الحمولات تظهر تشوهات لا تزال بزوال الحمولة المسببة لها ولا يجوز اهمالها .

يسمى التشوه الذي يزول تماما بزوال الحمولة المسببة له ـ التشوه المرن.

أما التشوه الذي لا يزول فيسمى التشوه المتبقي أو التشوه اللدن .

عند تصميم عناصر التصميم تحدد لها المقاييس اللازمة بحيث لا يظهر فيها التشوه اللدن .

كما ذكر أعلاه تستدعي الحمولة الخارجية المؤثرة في الجسم الصلب ظهور عناصر داخلية فيه مقاومة لها .

Scanned by CamScanner

فاذا كانت الحمولة الخارجية تشد الجسم الصلب فان العناصر الداخلية تقاوم ذلك الشد وذلك بظهور قوى التجاذب بين دقائق الجسم المشـــدود وبزيادة مقـــدار الحمولة الخارجية تزيد العناصر الداخلية • ان زيادة العناصر الداخلية في كل مـــادة يمكن أن يتم حتى نهاية معينة لا يمكن تجاوزها • ويمكن أن نزيد الحمولة الخارجية لدرجة لا يمكن فيها للعناصر الداخلية في الجسم ذي المقاييس المحددة أن توازنهـــا وبالتالي يتحطم الجسم •

بعد التعرف الى مفهوم التشوه وعناصر المرونة الداخلية يمكن صياغة مهمـــات علم مقاومة المواد بشكل أكمل حيث توضع في الحالات المختلفـــة لتأثـــير الحمولـــة الخارجية العلاقات الرياضية التي تحدد العلاقة بين الحمولـــة الخارجيـــة ، المقاييس الهندسية لعناصر التصاميم وعناصر المرونة والتشوهات الحاصلة ، وباستخدام هذه العلاقات وخواص المتانة للمواد تحدد المقاييس اللازمة لعناصر التصاميم وعند ايجاد هذه العلاقات نلجأ الى بعض الفرضيات الضرورية التي لا يمكن بدونها الاحاطـــة بسائر خصائص الظواهر المدروسة •

أولا : نفترض المادة التي يصنع منها التصميم صماء ومتجانسة في كل نقاطهـــا ومتكافئة الصفات بالاتجاهات كافة • بعض المواد مثل المعادن تملك تجانسا كبـــيرا (الحديد الصب يعد شاذا عن ذلك) • وهناك مـــواد أخرى مثـــل الخشب تملك تجانسا أقل من المعادن • وكل ما كان الجسم أكثر تجانســـا ومتكافىء الصفـــات بالاتجاهات كافة كان التطابق أكبر بين النظرية والتجربة •

في مقاومة المواد كقاعدة تدرس تلك الحالات عن سلوك الاجسام تحت تأثـــير الحمولات الخارجية عندما يكون التشوه صغيرا بالقياس مع أبعاد الجسم • ان ذلك يسمح باهمال التغيرات (الناشئة بسبب التشوه) التي تحـــدث بتبـــدل مواضـــع الحمولة المؤثرة في الجسم • عدا الفرضيات المذكورة هناك فرضيات أخرى في علـــم مقاومة المواد تذكر في الفقرات والفصول حسب الضرورة •

عند اختيار المادة وتحديد شكل التصميم ومقاييسه ينظر الى الامور التالية : الظروف التي سيعمل فيها التصميم ، متطلبات متانته ، عمر التصميم واقتصاديته •

Scanned by CamScanner

في بعض الحالات ينظر الى أمور اضافية مثلا عند تصميم عناصر الطائرةومحرك الطائرة تعطى أهمية كبيرة للوزن ويتطلب أن يكون الوزن أصغريا • وطبعا هناك متطلبات مختلفة بالنسبة للمنشآت الدائمة وقد تكون المتطلبات والامور المطلوب توافرها في التصميم متناقضة مثلا المتانة والخفة والاقتصادية •

فمثلا بزيادة سماكة جدار الاسطوانة لمحركالطائرات ذيالاسطواناتوالمكابس نزيد المتانة والضمانة في العمل ولكن ذلك يؤدي الى زيادة الوزن • وكذلك الجذع المعقوف للمحرك نفسه بسبب عد خفة الوزن يثقب ويفرغ ولكن تصنيعه وبالتالي كلفته تصبح أعلى • ان ذلك التناقض في المتطلبات والامور يستدعي بدوره ويحفز تطوير علم مقاومة المواد •

من الضروري عند اختيار المادة وتحديد مقاييس عناصر التصميم مراعاة كل المتطلبات الاساسية العامة (المتانة ، العمر ، الاقتصادية) وكذلك المتطلبات الخاصة الاضافية وبدون معرفة أسس مقاومة المواد من غير الممكن بناء حتى أبسط الآلات المستوفية للشروط الفنية اللازمة لكل تصميم • وفي هذا العلم : مقاومة المواد نجد أن التجربة والنظرية مرتبطان بشكل وثيق فهذا العلم هو في وقت واحد نظري وتجريبي • فكل الفرضيات النظرية وكل النتائج تخضع للتجربة وفقط بعد التأكد من صحتها بالتجربة تقر للاستخدام وكذلك تساعد التجربة النظرية في تلكالحالات عندما تكون الحسابات النظرية شديدة التعقيد •

ونشير هنا الى أن أهمية علم مقاومة المواد تزداد مع تطور التكنيك • ان قدماء البناة والمصممين عندما كانوا يفتقدون النظرية استندوا اساسا الى التجربة الغضة ناسخين النماذج الموجودة فكانت تصاميمهم شديدة الضخامة واستغرقت في حالات معينة سنين متواصلة وأحيانا استمرت قرونا كاملة • في القرن الثامن عشر مع تطور التجارة البحرية وتطور التعدين واستخراج الخامات برزت الحاجة الماسة لحل المسائل الخاصة بمتانة البواخر والمنشآت • وأصبحت الطرائقالقديمة للحساب غير جائزة والى ذلك التاريخ تعود بداية تطور علم مقاومة المواد حيث أنه ولاول مرة في فرنسا ظهر منهاج مقاومة المواد في عام ١٨٢٦ •

Scanned by CamScanner

قام بالابحاث الاولى في مجال المتانة غاليوغاليلي في النصف الاول للقرن السابع عشر .

في عام ١٦٦٠ صاغ روبرت هوك بالاستناد الى الملاحظة قانونه الهام الذي ينص على التناسب الطردي بين مقدار التشوه والحمولة في الجسم المرن .

١ ـ ٢ ـ القوى الخارجية :

تؤثر القوى الخارجية (الحمولات) على اجزاء الآلات والمنشآت بشكل مختلف وتبعا لطريقة التطبيق تقسم القوى الى قوى حجمية وقوى سطحية . مثال على القوى الحجمية الوزن الذاتي للجسم .

أما القوى السطحية فتكون اما موزعة أو مركزية ، القوى الموزعة هي القوى المطبقة على مساحة معينة أو وفق خط معين . مثال طبقة الثلج على سقيفة المنزل تمثل القوى الموزعة المطبقة على مساحة معينة . مثال آخر على القوى الموزعة هي قوى ضعط الغاز على جدار الاناء تقاس قوى ضغط الغاز بواحدات القوة منسوبة الى واحدات المساحة 1 Pa = 1 N/m2 والوحدة القياسية هي الباسكال .

ان الحمولة المطبقة على خط تقاس بواحدات القوة منسوبة الى واحدات الطول KN/m or N/m

ويمكن أن تكون الحمولة موزعة بشكل منتظم أو غير منتظم مثلا يتوزع ضغط الماء على السد بشكل غير منتظم فمع ازدياد العمق يزداد الضغط .

القوى المركزية هي تلك القوى المطبقة على مساحة ضئيلة من الجسم .ولتسهيل الحسابات نعد القوة المركزية مطبقة في نقطة . ولا يؤدي هذا التبسيط الى خطأ كبير . تقاس القوى المركزية بواحدات قياس القوى مثلا N , KN

حسب طريقة التأثير تقسم الحمولات الى قوى ستاتيكية وقوى تحريكية .

Scanned by CamScanner

القوة الستاتيكية هي تلك القوة التي تزداد ببطء من الصفر الى قيمة عظمى معلومة وبعد ذلك تبقى ثابتة أو تتغير بشكل يمكن اهماله .

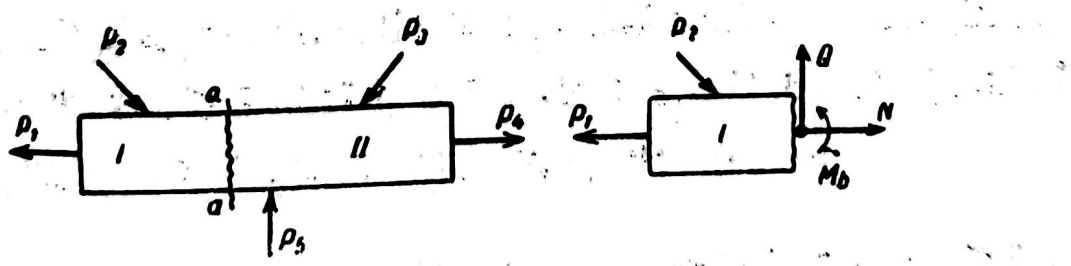
مثال على قوى التحريك قوى الصدم (تأثير المطرقة البخارية في الجسم المطروق حيث يقاس زمن تأثير الحمولة بأجزاء صغيرة من الثانية) . وينسب الى قوى التحريك كذلك القوى الدورية التي تتغير مع الزمن . وكمثال عليها الحمولة المطبقة على ذراع المكبس في محرك الاحتراق الداخلي وهي تتغير باستمرار بالمقدار والاتجاه ويبلغ عدد تغيرات هذه الحمولة عدة ملايين وذلك خلال مدة عمل ذراع المكبس كذلك ننسب الى قوى التحريك فئة قوى العطالة التي تظهر في المحركات الاهتزازية .

ان تقسيم القوى الى ستاتيكية وأخرى تحريكية يتعلق بأن المواد تقاوم بشكل مختلف هذه الانواع من القوى .

١ ـ ٣ ـ العناصر الداخلية ـ طريقة المقاطع :

ذكر سابقا أن الحمولة الخارجية المؤثرة في الجسم تستدعي ظهور العناصر المقاومة لها داخل الجسم (عناصر المرونة) . لتحديد هذه العناصر في مقطع ما في الجسم نلجأ الى طريقة المقاطع .

لنفرض أننا أحدثنا مقطعا لجسم في حالة توازن . الشكل (١ ـ ١) في النقطة التي تهمنا مثلا في a — a وبعد ذلك نهمل أحد القسمين (في الغالب القسم



الشكل (١ ـ ١)

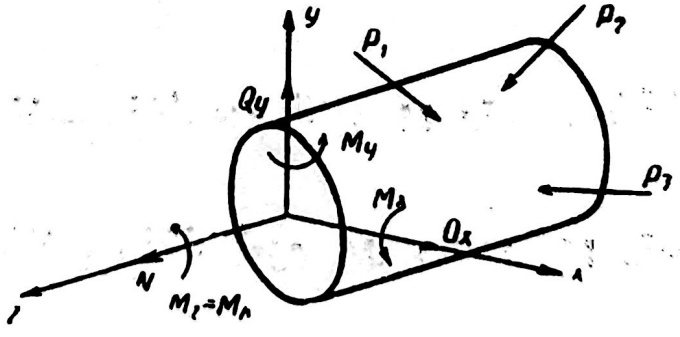
Scanned by CamScanner

الواقع تحت تأثير قوى أكثر) فنجد أن التأثير المتبادل بين القسمين تستبدل بـه عناصر داخلية بحيث تساوي الحمولة الخارجية التي تؤثر في القسم المقطوع واذا كانت الحمولة الخارجية تقع في مستوى واحد فانه من الضروري لتوازنها تطبيق ثلاثة عناصر داخلية على المقطع : قوة N باتجاه محور القضيب وتسمى القـوة الطولية ، قوة Q التي تؤثر في مستوى المقطع العرضي وتسمى القوة العرضيـة وعزم M_b الذي يكون مستو ى تأثيره عموديا على مستو ى المقطع .

ان هذا العزم يسمى عزم الانحناء لانه يسبب انحناء القضيب . بعد ذلك نضع معادلات التوازن لجزء الجسم المقطوع ومنها نحصل على M_b , N , Q

نحصل على N عند اسقاط القوى المؤثرة في القسم المقطوع على اتجاه محور القضيب بحيث يساوي مجموع المساقط صفرا وباسقاط القوى على اتجاه عمودي على محور القضيب نحصل على Q . ثم نحصل على M_b من معادلة مجموع العزوم في أي نقطة يساوي صفرا .

أما اذا كانت الحمولة الخارجية ويضمنها ردود افعال المساند لا تقع في مستوى واحد ففي هذه الحالة يمكن أن تظهر ثلاث قوى داخلية وثلاثة عزوم وذلك كما في الشكل (١ ــ ٢) .



الشكل (١ ــ ٢)

N القوى الطولية Q_x , Q_y قوتان عرضيتان ، العزم M_z يؤثر في مستوى المقطع ويسمى عزم الفتل وذلك لانه يسبب فتل القضيب العزم M_x والعزم M_y يسميان العزمين الانحنائيين لانهما يسببان انحناء القضيب .

Scanned by CamScanner

لتحديد القوى الثلاث والعزوم الثلاثة المذكورة من الضروري استعمال ست معادلات للتوازن وهي مجموع مساقط القوى المطبقة على القسم المقطوع على كل من محاور الاحداثيات الثلاثة يساوي صفرا وكذلك مجموع عزوم القوى المطبقة على القسم المقطوع على كل من محاور الاحداثيات التي تبدأ في مركز ثقل المقطع يساوي صفرا •

وهكذا نلخص طريقة المقاطع لايجاد العناصر الداخلية حسب الآتي :

١ ــ قطع القضيب أو مجموعة انقضبان •
٢ ــ اهمال أحد الجزئين من القضيب المقطوع •
٣ ــ تطبيق عناصر داخلية على المقطع بحيث تكون مساوية الحمولة الخارجية المؤثرة في القسم المقطوع •
٤ ــ ايجاد قيم العناصر من معادلات التوازن للقسم المقطوع •

ويمكن أن نصادف الحالات الخاصة التالية :

١ ــ تؤثر في القضيب القوة N فقط وتسمى حالة التحميل هذه شدا (اذا كانت القوة N منطلقة من المقطع) أو ضغطا (اذا كانت القوة موجهة الى المقطع)•

٢ ــ تؤثر في القضيب القوى العرضية Q_x , Q_y فقط وتسمى حالة التحميل هذه القص •

٣ ــ يؤثر في القضيب فقط عزم الفتل M_z وتسمى حالة التحميل هذه الفتل•

٤ ــ يؤثر في القضيب فقط العزم M_x والعزم M_y وتسمى حالة التحميل هذه الانحناء •

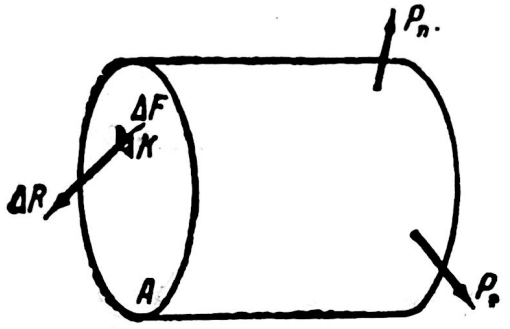
٥ ــ يخضع القضيب لحالة التحميل المعقد عندما يكون واقعا تحت تأثير أكثر من حالة تحميل •

Scanned by CamScanner

١ ـ ٤ ـ الاجهـادات :

كما ذكرنا بطريقة المقاطع نستطيع تحديد القيمة الاجمالية للعناصر الداخليـة المؤثرة في المقطع ولكن لقياس شدة القوة الداخلية المذكورة في نقطة معلومة ما . (الشكل ١ ـ ٣) نأخذ حول تلك النقطة مساحة صغيرة ΔF ونفترض أن محصلة القوى المؤثرة في هذه المساحة ΔR وبذلك يكون الاجهاد المتوسطي :

$$P_c = \frac{\Delta R}{\Delta F} \qquad (1-1)$$



الشكل (١ ـ ٣)

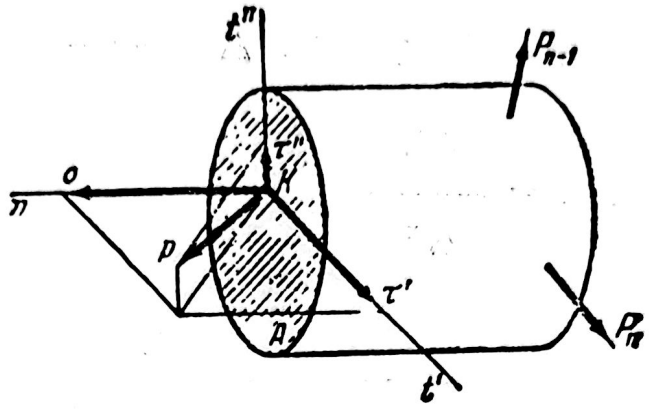
ان الاجهاد المتوسطي P_c هو مقياس كثافة القوى الداخلية والوحدة القياسية له هي Pa الباسكال الذي هو قيمة الاجهاد على سطح $1\ m^2$ حيث تؤثر قوة داخلية مقدارها N والباسكال قيمة صغيرة لذلك يستخدم عادة في القياس الميكاباسكال ($MPa = 10^6\ Pa$)

نحصل على القيمة الحقيقية للاجهاد في النقطة المعلومة التي هي بمثابة مركـز المسـاحـة بأخـذ ΔF نهاية المقدار المذكور عندما تنتهي ΔF الى الصـفر وتكتب رياضيا على الشكل التالي :

$$P = \lim_{\Delta F \to 0} \frac{\Delta R}{\Delta F} \qquad (1-2)$$

Scanned by CamScanner

ان الاجهاد الحقيقي الاجمالي P يمكن أن يحلل الى ثلاث مركبات الشكل (١ ــ ٤) احداها عمودية على مستوى المقطع وتسمى الاجهاد الناظمي σ ومركبتين حسب المحورين في مستوى المقطع وتسمى الاجهادات المماسية τ

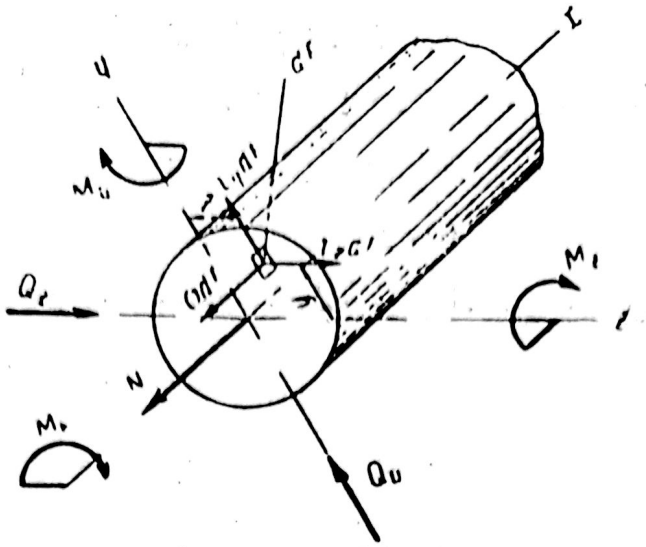


الشكل (١ ــ ٤)

ان الاجهاد الحقيقي الاجمالي لا يعد مقياسا مناسبا لشدة القوى وذلك لان المواد تقاوم بشكل مختلف الاجهادات الناظمة والاجهادات المماسية فالاجمادات الناظمية تحاول تقريب الجسم أو ابعاده باتجاه عمودي على مستوى المقطع بينما تحاول الاجهادات المماسية تحاول ازاحة جزيئات الجسم بالنسبة لبعضها في مستوى المقطع .

ان للاجهادات الناظمة والمماسية في كل مقطع عرضي من القضيب علاقات معينة مع العناصر الداخلية المؤثرة في هذا المقطع . وللحصول على تلك العلاقات نأخذ عنصر السطح dF من المقطع العرضي F لقضيب تؤثر فيه الاجهادات الناظمية والمماسية الشكل (١ ــ ٥) ونحلل الاجهاد المماسي τ الى مركبين τ_z , τ_y موازيين للمحورين y , z وتؤثر في عنصر السطح هذا عناصر القوى الداخلية $\tau_z dF$, $\tau_y dF$ σdF موازية للمحاور x , y , z ان مساقط كل عناصر القوى (المؤثرة على عنصر السطح dF من المقطع F) على المحاور x, y, z ومجموع عزومها حول تلك المحاور تعين بالعلاقات التالية :

Scanned by CamScanner



الشكل (١ ــ ٥)

$$(1-3)\quad \begin{cases} N = \int_f \sigma \, dF\,,\ Q_y = \int_f \tau_y \, dF\,,\ Q_z = \int_f \tau_z \, dF \\ M_k = \int_f (\tau_z \cdot y - \tau_y \cdot z)\, dF\,,\ M_y = \int_f \sigma_z \, dF \\ M_z = \int_f \sigma_y \cdot dF \end{cases}$$

حيث في الطرف اليساري من العلاقات السابقة العناصر الداخلية المؤثرة في المقطع العرضي للقضيب وهي :

N ــ القوة الطولية

Q_z , Q_y ــ القوى القاصة الموازية للمحورين y , z

M_k ــ عزم الفتل .

M_y ــ عزم الانحناء حول المحور y والمؤثر في المستوي XZ

M_z ــ عزم الانحناء حول المحور z والمؤثرة في المستوي XY

١ ــ ٥ ــ الانتقالات والانفعالات والتشوهات :

ان الاجسام الواقعة تحت تأثير الحمولة الخارجية تتفعل أي أن أبعادها وأشكالها تتغير . ولننظر ماذا تعني الانتقالات والانفعالات .

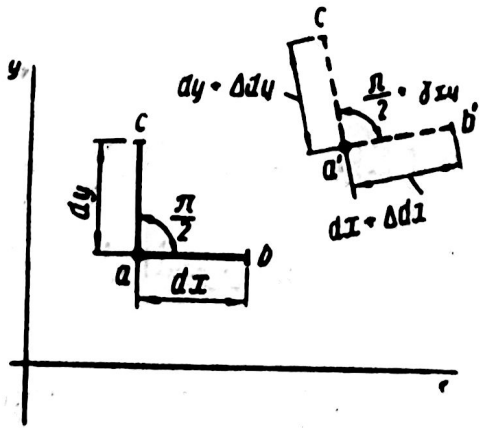
Scanned by CamScanner

نفترض أنه عبر النقطة A في جسم وباتجاه المحورين Y , X ننشىء القطع المستقيمة اللامتناهية في الصغر ac , ab بأطوال dy , dx الشكل (١ — ٦) ولنفترض Δdx , Δdy هما مقادير تغير تلك الاطوال بعد التحميل، أي عندما تنتقل النقاط a, b, c, الى a′ , b′ , c′ وتلك المقادير تسمى الانفعالات الخطية المطلقة • ما الانفعالات السنية الخطية فهي النسبة ما بين الانفعالات الخطة المطلقة على الطول قبل الانفعال •

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta dy}{dy} \quad , \quad \varepsilon_z = \frac{\Delta dz}{dz} \qquad (1 — 4)$$

ان تغيير الزاوية القائمة الاولية ما بين القطعتين المستقيمتين ac — ab بعد التحميل نفسه بالراديان هو الانفعال الزاوي γ_{xy} في النقطة a من المستوى xy وبالمبدأ نفسه بالنسبة للانفعال الزاوية γ_{yz} , γ_{zx} في المستويات zx , yz واننا نستطيع أن نقيس انفعالات الجسم في كل نقطة من نقاطه وفي جميع الاتجاهات اذا علمنا الانفعالات الخطية ε_x, ε_y والانتقالات الزاوية γ_{xy} , γ_{yz} , γ_{zy}

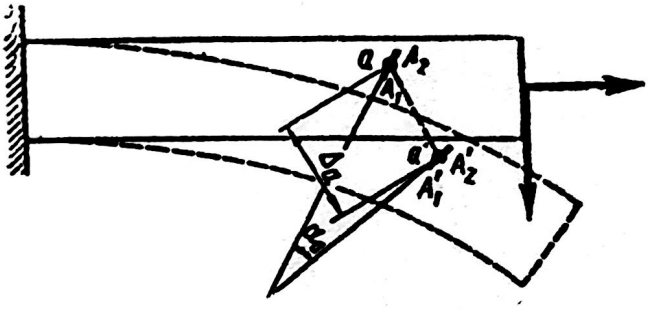
ان الانفعالات الخطية والزاوية هي مقادير بدون وحدات قياسية كثير ما تسمى الانفعالات ε بالانفعالات الخطية النسبية والانفعالات γ الانزياحات النسبية •



الشكل (١ — ٦)

Scanned by CamScanner

ان مجموعة الانفعالات الخطية ε في جميع الاتجاهات والانفعالات الزاوية γ في جميع المستويات المارة عبر النقطة المدروسة هي الحالة الانفعالية في النقطة وكنتيجة للانفعالات فان نقاط الجسم تنتقل الى وضع جديد ، والقطع المستقيمة اللامتناهية في الصغر والواصلة ما بين زوج من النقط القريبة من بعضها تدور . وكمثال على ذلك الشكل (١ ــ ٧) حيث القطع المستقيمة المتواصلة وضع القضيب قبل التحميل وخطوط منقطة وضعه بعد التحميل في حالة الانفعال لنحدد على القضيب في نقطة ما a نمرر منها مستقيما واصلا ما بين النقاط $A_1 A_2$ ونتيجة للانفعال فان النقطة a′ تنتقل الى a القطعة المستقيمة $A_1 A_2$ تأخذ الوضع $A'_2 A'_8$ ان المسافة $a a'$ هي الانتقال الخطي Δa للنقطة A والزاوية α_a ما بين اتجاهي القطعتين المستقيمتين $A_1 A_2$, $A'_8 A'_2$ دوران القطعة $A_1 A_2$ هي انتقال الزاوية .



الشكل (١ ــ ٧)

Scanned by CamScanner