١١ – الدراسة التجريبية لخواص المواد

أ – اغراض وانواع الاختبارات

لدراسة خواص المواد وتحديد مقادير الاجهادات المسموح بها ، تجرى اختبارات على نماذج المادة حتى انهيارها (تحطمها) . ويجرى الاختبار بحالات التحميل التالية : الاستاتيكية ، التصادمية (الطارقة) والدورية (اختبار الكلال او الاطاقة) .

وتختلف الاختبارات على الشد او الانضغاط ، او الالتواء او الانحناء تبعا لنوع التشوه الحاصل للنموذج المختبر . وفى حالات نادرة تجرى اختبارات المقاومة المعقدة ، مثلا فى حالة اقتران الشد مع الالتواء .

وتجرى التجارب عادة فى ظروف قياسية ، وذلك لان نتائج الاختبارات تتعلق بشكل النموذج وسرعة تشوهه والحرارة عند الاختبار ..... الخ .

وتجرى الاختبارات بواسطة الات خاصة مختلفة من حيث تركيبها وقدرتها.

ولقياس التشوه تستخدم ادوات خاصة (تنزومتر) ، لها حساسية غالية.

ويمكن الاطلاع على دراسات تفصيلية للالات والادوات الاختبارية فى مراجع خاصة .

ويستعمل لاجل الاختبار الاستاتيكى نموذجان متطابقان كحد ادنى، اما للاختبار الديناميكى فتستعمل ثلاثة نماذج ، ولاختبار التحميل يتطلب من ٦ الى ٨ نماذج متطابقة كحد ادنى. وللحصول على نتائج اكثر دقة عند اختبار المواد الاقل تجانسا، يجب الاكثار من التجارب المتكررة بقدر الامكان.

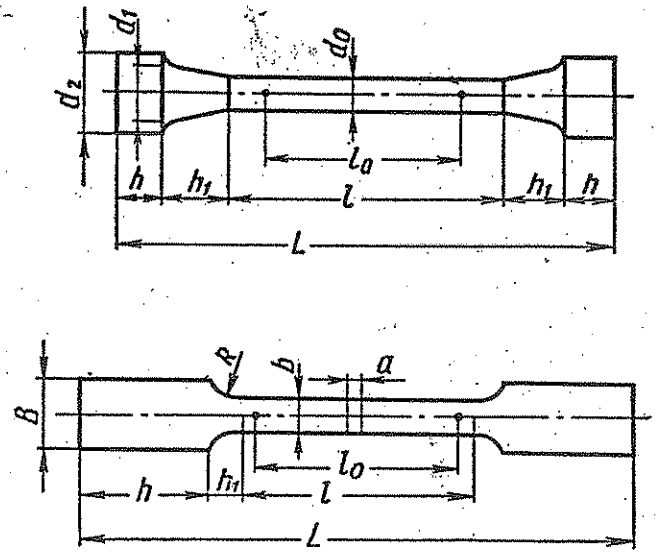
ب – الرسوم البيانية للشد والانضغاط

ان اختبارات الشد والانضغاط تحت تأثير الحمل الاستاتيكى هى الاكثر انتشارا، وذلك لسهولتها، وفى نفس الوقت فانها تعطى فى حالات كثيرة، امكانية الحكم الصحيح على سلوك المادة فى الحالات الاخرى للتشوه.

وقد وضحت فى الشكل (٢ – ٧) نماذج الاختبار على الشد، المستعملة

فى الاتحاد السوفييتى. ويبلغ قطر النماذج الاسطوانية العادية الاساسية ١٠ مم والطول الاولى الحسابى $l_0 = 10d_0$ (للنماذج الطويلة) و $l_0 = 5d_0$ (للنماذج القصيرة).

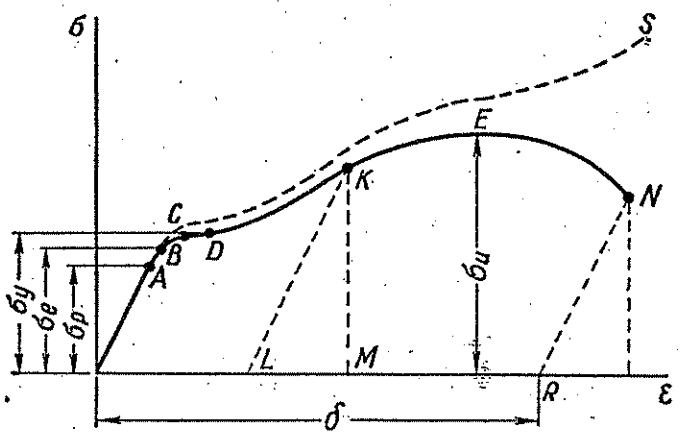
ان الغرض من اختبارات الشد هو تحديد الخصائص الميكانيكية للمادة. وخلال الاختبار يوضع الرسم البيانى للعلاقة بين قوة شد النموذج (P) واستطالته (Δl) بصورة اوتوماتيكية.



الشكل ٢ — ٧

ولأجل امكانية مقارنة نتائج اختبار النماذج ذات الابعاد المختلفة والمصنوعة من مادة واحدة فان الرسم البيانى للشد ينقل الى رسم آخر بمجموعة اخرى من محاور الاحداثيات: على الاحداثى الصادى يوضع مقدار الاجهاد العمودى فى المقطع العرضى للنموذج المشدود $\sigma = \frac{P}{F_0}$ حيث F_0 — هى المساحة الأولية لمقطع النموذج. وعلى الاحداثى السينى يوضع مقدار الاستطالة النسبية للنموذج $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$، حيث l_0 — الطول الاولى للنموذج. ويسمى هذا الرسم البيانى بالرسم البيانى للشد الاصطلاحى (او الرسم البيانى للاجهادات الاصطلاحية)، وذلك لان الاجهادات والاستطالة النسبية تحسب على الترتيب بالنسبة الى المساحة الاولية للمقطع والى الطول الاولى للنموذج. والشكل (٢ — ٨) يوضح الرسم البيانى لشد نموذج من فولاذ ذى نسبة كربون منخفضة وباحداثيات ε ، σ. وكما هو

واضح، ففى البداية فى القسم OA حتى اجهاد معين σ_p يسمى بحد التناسب (*proportional limit*)، فالتشوه يزداد كلما زاد الاجهاد. اذن فان قانون هوك يكون صحيحا حتى حد التناسب. وفيما يخص الفولاذ رقم ٣ يكون حد التناسب $\sigma_p \approx 2000\ kg/cm^2$ (يستعمل ايضا الرمز σ_{pr}). وعند الزيادة اللاحقة للحمل يأخذ الرسم البيانى شكل الخط المنحنى. ولكن اذا لم يتجاوز الاجهاد مقدارا معينا، هو حد المرونة σ_e، فان المادة تحتفظ بخواصها المرنة اى ان النموذج يأخذ شكله وابعاده الاولية بعد رفع الحمل عنه.



الشكل ٢ — ٨

وبالنسبة للفولاذ رقم ٣ فان حد المرونة يساوى، $\sigma_e \approx 2100\ kg/cm^2$ والفرق بين حد التناسب وحد المرونة قليل، وفى الحياة العملية لا فرق بين σ_{pr} و σ_e.

واذا ازداد الحمل اكثر من ذلك، فان لحظة (نقطة C) تحل، ويبدأ التشوه عندها فى الازدياد عمليا دون ازدياد الحمل.

ان القسم الافقى CD من الرسم البيانى يسمى بمساحة الخضوع.

وان الاجهاد الذى تحدث عنده زيادة التشوه بدون زيادة الحمل يسمى بنقطة الخضوع (*yield point*) ويرمز اليها بـ σ_y *.

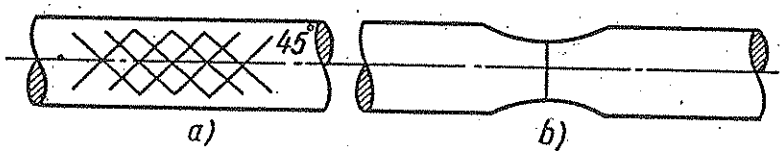
*وتسمى هذه الظاهرة احيانا بالحد الفيزيائى للخضوع بغية تمييزه عن الحد الاصطلاحى للخضوع الذى سنتحدث عنه فيما بعد

وللفولاذ رقم ٣ فان حد الخضوع يساوى $\sigma_y \cong 2400\ kg/cm^2$.

وتعطى عدة مواد عند اختبارها على الشد رسوما بيانية لا تحتوى على مساحة الخضوع ولذا فقد حدد لها بما يسمى بالحد الاصطلاحى للخضوع.

ويسمى الحد الاصطلاحى للخضوع بالاجهاد الذى يناظر تشوها دائما قدره ٠,٢٪. ويرمز الى الحد الاصطلاحى للخضوع بالرمز $\sigma_{0,2}$. ومن المواد التى يحدد لها الحد الاصطلاحى للخضوع على سبيل المثال: الديورالومينيوم والبرونز والفولاذ العالى الكربون والفولاذ السبائكى (مثلا للفولاذ 37 XH3A ($\sigma_{0,2} = 10000\ kg/cm^2$).

وقد اظهرت الدراسات ان الخضوع يقترن بانزلاق متبادل كبير لبلورات المادة. ومن جراء ذلك تظهر على سطح النموذج خطوط (تسمى بخطوط تشيرنوف ــ ليوديرس) مائلة على محور النموذج بزاوية تقدر بحوالى ٤٥ درجة (انظر الشكل ٢ ــ ٩، a).



الشكل ٢ ــ ٩

وعند زيادة طول المادة الى حد ما بتأثير القوى الثابتة، اى عندما تمر بحالة الخضوع، فانها تستعيد قابليتها لمقاومة الشد (تتقوى)، والخط البيانى يرتفع الى اعلى بعد النقطة D بانحدار اقل بكثير مما كان عليه سابقا (انظر الشكل ٢ ــ ٨).

ويصل الاجهاد الى اقصى مقدار له فى نقطة E . ان هذا الاجهاد الاصطلاحى الاقصى الذى يمكن ان تتحمله المادة يسمى بحد المقاومة، او بالمقاومة المؤقتة. ويساوى حد مقاومة الفولاذ رقم ٣ : $\sigma_u = 4000 \div 5000 kg/cm^2$. ويصل مقدار حد المقاومة للفولاذ العالى المتانة الى $17000\ kg/cm^2$ (فولاذ 40 XHMA وغيره). ويرمز الى حد المقاومة عند الشد بـ σ_{up} وعند الانضغاط σ_{uc}.

وعند بلوغ الاجهاد مقدار حد المقاومة يظهر على النموذج فجأة تقلص ويسمى هذا بالرقبة (الشكل ٢—٩، *b*). وتقل مساحة مقطع النموذج فى الرقبة بسرعة، ونتيجة لذلك تنخفض القوة والاجهاد الاصطلاحى ويحدث تمزق (او انفصال) عند اصغر مقطع من الرقبة.

وعذا الخواص الميكانيكية للمادة المذكورة اعلاه وعند الاختبار على الشد تحدد ايضا الاستطالة الدائمة النسبية (*percentage elongation*) عند الانفصال δ التى تعتبر خاصية هامة للدونة المادة.

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} 100\% \qquad (٢—١٤)$$

حيث l_0 — الطول الاولى للنموذج،

l_1 — طول النموذج بعد الانفصال.

ان للفولاذ رقم ٣ مقدار $\delta \geqslant ٢٤\%$. اما بالنسبة للفولاذ العالى المقاومة، فان هذا المقدار ينخفض حتى ٧ — ١٠٪. وان مقدار δ يتعلق بالنسبة بين طول النموذج وابعاده العرضية. لذا يذكر فى الدليل مقدار δ بالنسبة لاى نموذج. مثلا δ_5 يرمز الى ان الاستطالة كانت محددة على نموذج من أس خمسة، اى على النموذج الذى تساوى فيه نسبة الطول المحسوب على قطره، خمسة.

ان الاستطالة التى حددت بهذه الطريقة تعتبر استطالة متوسطة نوعا ما، وذلك لان التشوهات توزعت على طول النموذج بصورة غير منتظمة. ان اكثر استطالة حدثت هى فى نقطة الانفصال وتسمى عادة بالاستطالة الحقيقية عند الانفصال. ان الخاصية الثانية للدونة المواد هى التضيق النسبى الدائم عند الانفصال

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} 100\% \qquad (٢—١٥)$$

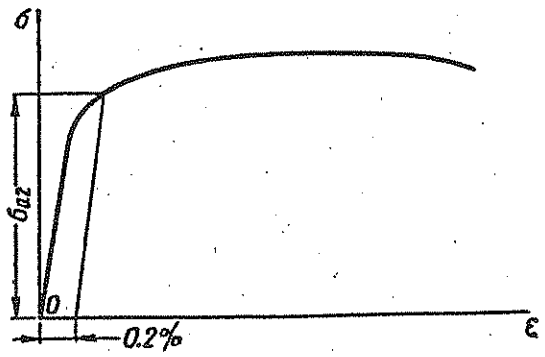
حيث F_0 — المساحة الاولية للمقطع العرضى.

F_1 — مساحة المقطع العرضى فى ارفع (اضيق) فكان من الرقبة بعد الانفصال.

ان مقدار ψ يبين الخواص اللدنة (البلاستيكية) بصورة اكثر دقة من δ.

وذلك لانها تتعلق بدرجة اقل بشكل النموذج. وللفولاذ رقم ٣ فان مقدار ψ يساوى ٥٠—٦٠٪.

وكما ذكرنا اعلاه فان اشكال الشد البيانية لكثير من انواع الفولاذ وكذلك سبائك المواد غير الحديدية لا تحتوى على مساحة الخضوع. ويبين الشكل ٢ — ١٠ الرسم البيانى المميز لحالات تشوه مثل هذه المواد.



الشكل ٢ — ١٠

ولدراسة التشوهات اللدنة (البلاستيكية) الكبيرة يجب معرفة الرسم البيانى الحقيقى للشد، الذى يعطى العلاقة بين التشوه الحقيقى والاجهاد الحقيقى والتى تحسب بتقسيم القوة الشادة على المساحة الحقيقية للمقطع العرضى للنموذج (مع اخذ التضييق فى الحسبان).

وبما ان المساحة الحقيقية للمقطع العرضى اقل من المساحة الاولية، فان الرسم البيانى للاجهاد الحقيقى يذهب اعلى من الشكل البيانى للاجهاد الاصطلاحى وخاصة بعد ظهور الرقبة اى عندما يحدث التضييق (التقليل) الشديد لمقطع النموذج العرضى (منحنى OCS، الشكل ٢ — ٨).

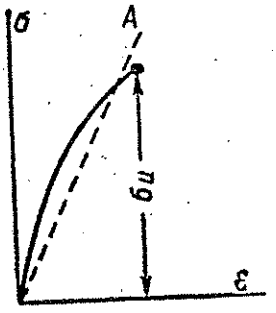
وتستخدم عادة طرق تقريبية لتخطيط الرسم البيانى للاجهاد الحقيقى، التى تشرح فى الدراسات المفصلة لمقاومة المواد.

ان بحث الرسم البيانى للشد (انظر الشكل ٢ — ٨) يعتبر خاصية لما يسمى بالمواد اللدنة (البلاستيكية) اى المواد التى لها القابلية على تحمل التشوه الدائم الكبير (δ) دون ان تتحطم او تنهار.

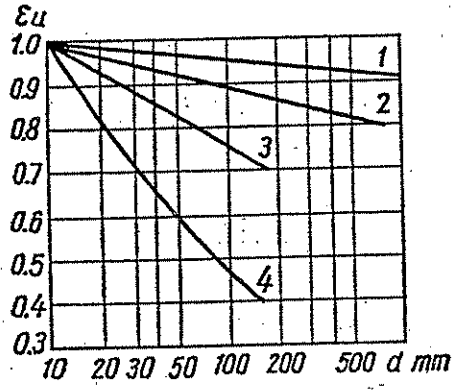
وكلما كانت المادة اكثر لدونة كلما كانت δ اكبر. والى المواد اللدنة ينتمى النحاس، الالومنيوم، النحاس الاصفر، الفولاذ المنخفض الكربون

وغيرها. وتعتبر الديورالومنيوم والبرونز مواد اقل لدونة اما للمواد الضعيفة اللدونة فينتمى اكثر انواع الفولاذ السبائكى.

ان الصفة المعاكسة للدونة، هى صفة الهشاشة (التقصف) اى قابلية المادة للانكسار عند التشوهات الدائمة البسيطة. ان مقدار التشوه الدائم عند الانفصال لمثل هذه المواد لا يزيد على ٢ — ٥٪، وفى بعض الحالات يشكل كسرا مثويا. وينتسب الى المواد الهشة حديد الزهر، الفولاذ الالى العالى الكربون،



الشكل ٢ — ١١



الشكل ٢ — ١٢

الحجر، الخرسانة، الزجاج، الزجاج البلاستيكى وغيرها من المواد. وتجدر الاشارة الى ان تقسيم المواد الى مواد لدنة وهشة يعتبر اصطلاحيا، وذلك لانه تبعا لشروط الاختبار (سرعة الاجهاد والحرارة) ونوعية حالة الاجهاد، فان المواد الهشة يمكنها ان تسلك مثل المواد اللدنة، واللدنة مثل الهشة.

ان نموذج حديد الزهر مثلا فى حالة الانضغاط من جميع الجهات، يسلك مثل المادة اللدنة، اى انه لا يتحطم حتى عند تشوهات كبيرة. وبالعكس، فان نموذج الفولاذ المخدد ينكسر عند تشوه قليل نسبيا.

ولذا فمن الاصح التحدث عن الحالة اللدنة والحالة الهشة للمادة.

وعند شد نماذج المواد الهشة فاننا نلاحظ عدة خواص. والشكل ٢ — ١١ يبين الرسم البيانى لشد حديد الزهر. وواضح من الرسم البيانى ان الابتعاد عن قانون هوك يبدأ مبكرا. ويبدأ الانفصال فجأة عند تشوهات صغيرة جدا وبدون

ظهور الرقبة، وهذه خاصية لجميع المواد الهشة. ان هذا الرسم البيانى يعطى الامكانية لتحديد خاصيتين: حد المقاومة عند الشد σ_u والاستطالة النسبية الدائمة عند الانفصال. وعادة فى الحسابات العملية للمواد الهشة فان الحيد عن قانون هوك لا يؤخذ عادة فى الاعتبار، اى ان منحنى الرسم البيانى يستبدل بخط مستقيم اصطلاحيا (انظر الخط المنقط فى الشكل ٢ — ١١).

وبالنسبة لحديد الزهر والمواد الهشة الاخرى، فان ابعاد النموذج تؤثر تأثيرا واضحا على حد المقاومة عند الانفصال وتقدير هذا يكون بواسطة معامل مقياس الرسم

$$\varepsilon_u = \frac{\sigma_{ud}}{\sigma_{u10}} \qquad (٢-١٦)$$

حيث σ_{ud} — حد المقاومة لنموذج قطره d .

σ_{u10} — حد المقاومة لنموذج قطره = ١٠ مم.

وفى الشكل ٢ — ١٢ بينت المنحنيات التى توضح علاقة ε_u بقطر النموذج للمواد التالية: ١ — الفولاذ العالى الكربون والفولاذ المنجنيزى، ٢ — الفولاذ السبائكى، ٣ — حديد الزهر المعدل، ٤ — حديد الزهر الرمادى (الاشهب).

وبصورة خاصة، فان زيادة الابعاد المطلقة لنموذج حديد الزهر تؤثر على مقدار ε_u (انظر المنحنيات ٣، ٤ فى الشكل ٢ — ١٢).

وتجدر الاشارة الى انه تم فى السنوات الاخيرة التوصل الى نجاحات عظيمة فى حقل ايجاد مواد عالية المتانة.

ان القيمة النظرية لحد المقاومة المحسوبة على اساس اعتبار التأثير المتبادل للذرات فى البلورات، تؤلف تقريبا قسما واحدا من عشرة من E اى للفولاذ حوالى ٢٠٠٠٠٠ كجم/سم^2، وهذا اكثر بحوالى ١٠ مرات من حد مقاومة الانواع الموجودة من الفولاذ العالى المتانة.

وتم الحصول فى المختبرات على الياف بلورات الحديد بحد مقاومة قدره:

σ_u = ١٤٠٠٠٠ كجم/سم^2.

ووجدت طرق لتمتين الفولاذ وبعض السبائك بتأثير الاشعاع النيوترونى، حيث

تقوم الجزيئات السريعة بخلع ذرات المعدن من شبكته البلورية وتكون فا
اما محلات حرة (فراغات) او ذرات بلا محلات (ذرات مقتحمة
interstitials) . ان هذا الاختلال فى التركيب (انتقال الوضع) يجعل المعا
اكثر متانة، لان الحركة (الانتقال) داخل البلورة تصعب، وهذا ما يشبه ع
انزلاق قضيبين ذى سطحين خشنين.

جـ ـ زيادة الحد الاصطلاحى للخضوع عند تكرار التحميل (الاصلاد الانفعالى)

اذا كان التحميل على النموذج لم يتجاوز حد المرونة، فعند ازالة الحم
تزول كل التشوهات وعند اعادة تحميل النموذج فانه يسلك نفس سلوكه
الحالة الاولى.

واذا كان النموذج نفسه محملا باجهاد اكثر من حد المرونة، مثلا حت
الاجهاد الذى يناسب نقطة K من الرسم البيانى فى الشكل ٢ ـ ٨، فخ
ازالة التحميل يكون بالمستقيم KL موازيا الى خط OA . فالقسم المرن من التشو
(خط LM) يزول، اما القسم اللدن لنفس قسم التشوه (خط OL) سيبقى

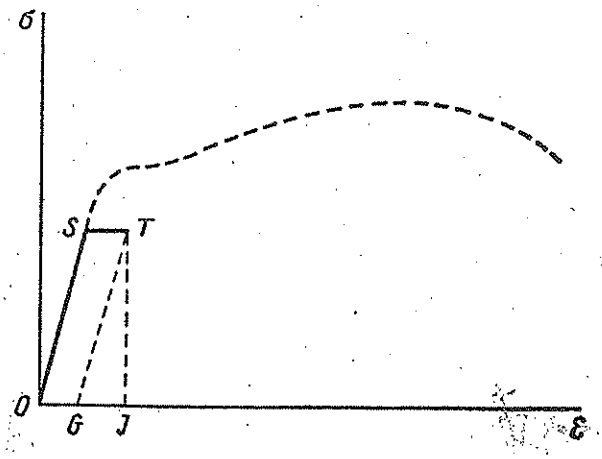
اذا اعيد تحميل المادة من جديد، فان الخط (الرسم) البيانى يمر
بالمستقيم LK حتى النقطة K * نفسها. ان الاستطالة الدائمة عند أ لانفصال
ستقاس بمقدار القسم LR، اى ان لها مقدارا اقل من حالة التحميل الابتدائ
بمرة واحدة: حتى الانفصال.

اذن فعند التحميلات المتكررة للنموذج المشدود المقدم اكثر من حـ
الخضوع حتى ظهور الاجهاد فيه، يزداد حد التناسب الى المقدار الذى وصل
اليه الاجهادات فى التحميل السابق. واذا كان بين ازالة التحميل وتكرار التحميل
فترة توقف فان حد التناسب يزداد مرة اخرى. وتجدر الاشارة الى ان الرس
البيانى $LKEN$ الذى حصلنا عليه بواسطة تكرار التحميل لا يحتوى على مساح

---

*ان خط التحميل لا ينطبق تماما على خط ازالة التحميل، وان الحيد عنه ليس بكبير. و
فمن الممكن اهماله.

الخضوع ولذا فان للنموذج الذى اجتاز مرحلة ازالة التحميل واعادته، يعين الحد الاصطلاحى للخضوع ($\sigma_{0,2}$) ومن البديهى انه اعلى من حد الخضوع فى حالة التحميل الاولى. ومما سبق يمكن التأكد من زيادة حد الخضوع بواسطة تكرار التحميل.



الشكل ٢ — ١٣

ان ظاهرة زيادة حد التناسب وتقليل لدونة المادة عند تكرار التحميل تسمى « بالاصلاد الانفعالى ». ويعتبر الاصلاد الانفعالى فى حالات كثيرة ظاهرة غير مرغوب فيها، لان المعدن المصلد انفعاليا يصبح اكثر هشاشة.

ولكن الاصلاد الانفعالى بصورة عامة يكون مفيدا فى حالات كثيرة اخرى ويجرى تحقيقه صناعيا، مثلا فى الاجزاء التى تقع تحت تأثير أحمال متغيرة (انظر الباب الثانى عشر).

د — تأثير الزمن على التشوه . التأثير اللاحق المرن. الزحف . الارخاء

لقد اظهرت التجارب ان التشوه نتيجة تأثير الاحمال لا يظهر فجأة، بل بعد مرور فترة زمنية محددة.

واذا اوقفنا التحميل عند اجهادات مطابقة لنقطة S (شكل ٢ — ١٣) وتركنا النموذج لفترة معينة تحت تأثير الحمل فان التشوه سيزداد (القسم ST)، حيث يكون الازدياد فى البداية سريعا، وبعدها اكثر بطأ. وعند ازالة الحمل فان قسم التشوه الذى يناظر القسم GJ، يزول تقريبا على الفور اما القسم الاخر من التشوه الذى يمثله القسم OG، فلا يزول توا وانما بعد مرور وقت معين *.

*فى الشكل ٢ — ١٣ اوضح القسم ST بمقياس رسم اكبر من بقية الرسم البيانى، بغية الايضاح.

ان ظاهرة تغير التشوهات المرنة مع مرور الزمن تسمى بالتأثير اللاحق المرن. وكلما كانت المادة اكثر تجانسا، كلما كان التأثير اللاحق المرن اقل، وهو بالنسبة للمواد الصعبة الانصهار فى درجات الحرارة العادية قليل ومن الممكن اهماله.

وبالعكس ففى المواد العضوية يكون التأثير اللاحق المرن كبيرا ويجب اخذه فى الاعتبار.

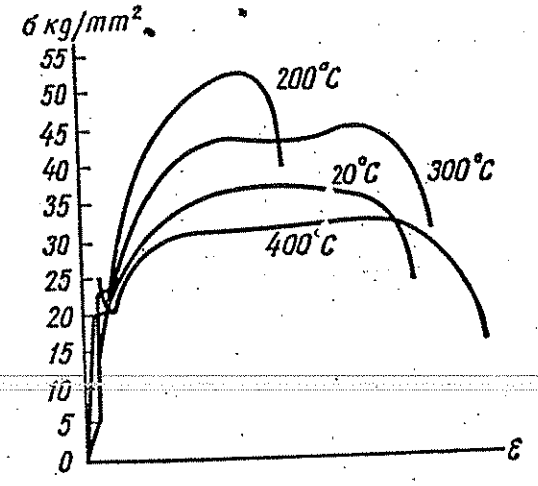
وتحت تأثير الحمل فى ظروف درجات الحرارة العالية تلاحظ فى كثير من المواد ظاهرة اخرى — وهى الزيادة المستمرة للتشوهات الدائمة التى تنتهى فى حالات معينة بانهيار المادة.

فالانبوبة الفولاذية التى تستخدم كانبوبة بخار والتى تعمل تحت ضغط ودرجة حرارة معينين للبخار، يتسع قطرها باستمرار.

ان تغير التشوه فى الجزء المحمل مع مرور الزمن يسمى بظاهرة الزحف.

وللمعادن ذات درجة الانصهار المنخفضة (كالزنك والرصاص)، وكذلك للخرسانة فان ظاهرة الزحف تشاهد فى درجات الحرارة الاعتيادية. وفى الفولاذ تلاحظ علامات الزحف فى درجات حرارة تزيد عن ٣٠٠ درجة مئوية.

ان الاجهاد الذى تكون عنده سرعة التشوه اللدن (البلاستيكى) فى درجة حرارة معينة وتحت تأثير حمل ثابت يشكل مقدارا معينا — معطى مقدما — مثلا ٠٫٠٠٠١٪ فى الساعة ويسمى بحد الزحف σ_{cr} ويعتبر خاصية ميكانيكية هامة.



شكل ٢ — ١٤

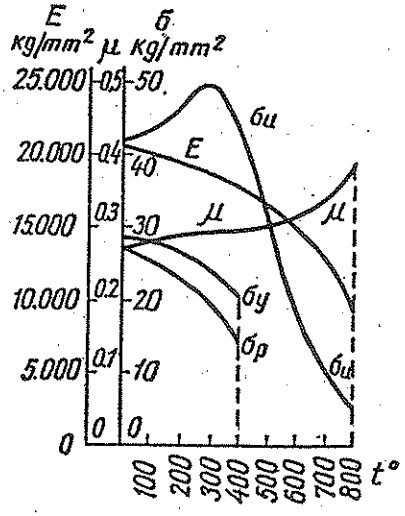
وتوجد ظاهرة اخرى متصلة اتصالا وثيقا مع الزحف، حيث يتحول فيها تشوه الجسم المرن بمرور الزمن الى تشوه لدن (بلاستيكى)، تكون نتيجة تغير الاجهادات المؤثرة مع الحفاظ على مقدار التشوه الكامل. ان مثل هذه الظاهرة

تسمى بالارتخاء. ونتيجة للارتخاء فان المفاصل التى انجزت بصورة متوترة، فى ظروف درجات الحرارة العالية وبمرور الزمن تصبح ضعيفة.

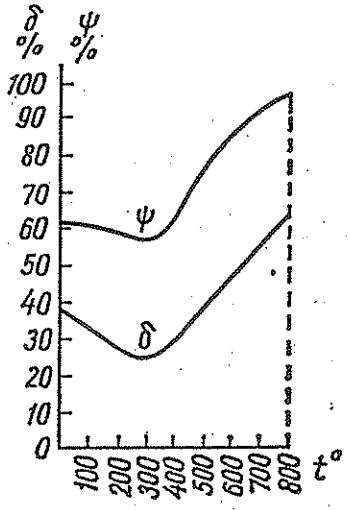
هـ ـ تأثير الحرارة

لقد اظهرت التجارب ان خصائص المواد تتأثر بشدة بالحرارة.

فى الشكل ٢ ـ ١٤ ثمة عدة خطوط بيانية لحالة شد الفولاذ المنخفض الكربون ($C = ٠,١٥\%$) عند درجات حرارة مختلفة، وفى الشكلين ٢ ـ ١٥ و٢ـ١٦ توجد منحنيات تبين علاقة الثوابت المرنة (E, μ) والخواص الميكانيكية (σ_p، σ_y، σ_u)، وكذلك علاقة ψ و δ بدرجة الحرارة لنفس الفولاذ.



الشكل ٢ ـ ١٥



الشكل ٢ ـ ١٦

ويتضح من الرسوم البيانية ذلك التأثير الكبير للحرارة على خصائص الفولاذ. حتى درجة ٣٠٠ مئوية فان المقاومة المؤقتة σ_u تزداد (حوالى ٢٠ ـ ٣٠٪) وعند الزيادة اللاحقة لدرجة الحرارة فان σ_u تقل بشدة.

اما مقدار حد الخضوع σ_y وحد التناسب σ_p فانهما يقلان بزيادة درجة الحرارة. وفى درجة حرارة ٤٠٠ مئوية فان حد الخضوع يشكل ٦٠ ـ ٧٠٪ من قيمته عند درجة حرارة الغرفة. وبارتفاع درجة الحرارة فان طول منطقة

الخضوع يقل وعند درجة حرارة حوالى ٤٠٠ مئوية فان منطقة الخضوع تزول نهائيا.

ان الخواص البلاستيكية (الاستطالة النسبية الدائمة عند الانفصال δ وتقلص مساحة المقطع العرضى ψ) تقل بازدياد درجة الحرارة حتى ٣٠٠ مئوية، ولكنها تزداد بارتفاع درجة الحرارة اللاحق (انظر الشكل ٢ ــ ١٦).

وتعتمد الخواص الميكانيكية للمواد اعتمادا كبيرا على طول مدة الاختبار. فى درجات حرارة معينة (مثلا للفولاذ المنخفض الكربون عند درجة حرارة اكثر من ٨٠٠° مئوية) فان النموذج المختبر يمكن ان ينهار تحت اجهاد اقل من حد التناسب الذى يناظر درجة حرارة الغرفة، وهذا الاجهاد سيستمر وقتا طويلا كافيا. ولذا فان متانة المعادن فى درجات الحرارة العالية لا تحدد بواسطة المقدار العادى لحد المتانة الذى حصل عليه عن طريق الاختبار القصير الأمد، بل بواسطة مقدار ما يسمى بحد استدامة المتانة. ويعرف حد استدامة المتانة بانه ذلك الاجهاد الذى يؤدي تأثيره فى خلال فترة زمنية معينة وبدرجة حرارة ثابتة الى انهيار النموذج.

ان الاجزاء المخصصة للعمل فى درجات الحرارة العالية، تصنع من فولاذ خاص مقاوم للحرارة يحتوى على خليط من العناصر السبائكية الخاصة.

ويقصد بمقاومة الفولاذ للحرارة قابليته للحفاظ على المتانة العالية عند درجات الحرارة المرتفعة وخاصة المقاومة العالية للزحف. ولرفع مقاومة الفولاذ فانه يسبك مع التنجستن، الموليبدنوم، والفاناديوم.

ويقصد بصمود الفولاذ للحرارة، قابليته لمقاومة التلف الكيمياوى للغلاف تحت تأثير الهواء الحار او الغاز (الصدأ الغازى). ولرفع صمود الفولاذ للحرارة يسبك مع الكروم والسليكون والالومنيوم.

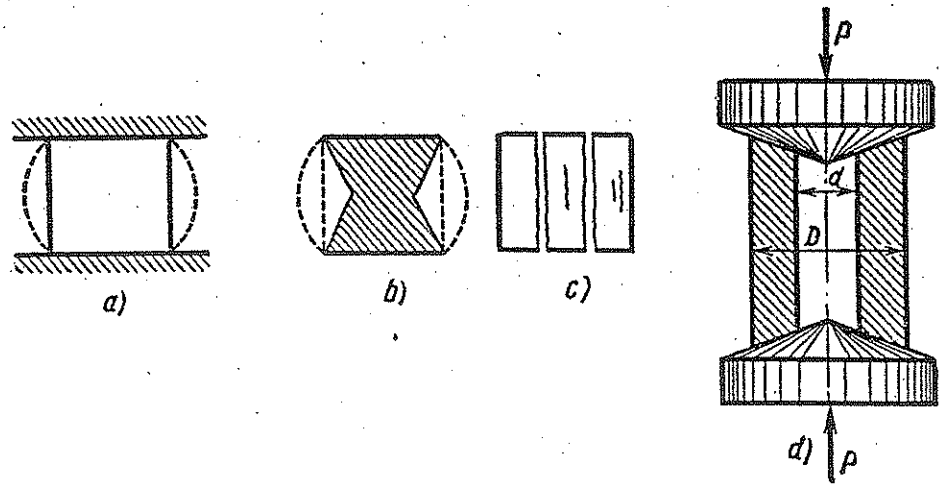
و ــ بعض خواص اختبار الانضغاط

من اجل اختبار الانضغاط تؤخذ نماذج على شكل مكعبات او اسطوانات قصيرة (ذات ارتفاع قدره $h \leqslant 3d$) وذلك لان النماذج الطويلة يمكن ان تنحنى

واستعمال نماذج قصيرة جدا ايضا امر غير مرغوب فيه، لان قوى الاحتكاك المتنامية فى طرفى النموذج تعرقل توسعه. ونتيجة لذلك فان النموذج يأخذ شكل برميل (الشكل ٢ — ١٧ a، b).

وتتعلق نتائج اختبار الانضغاط بمقدار قوى الاحتكاك هذه . وفى هذه الحالة تعتبر النماذج الاسطوانية اكثر ملاءمة من النماذج المكعبة. ويمكن تقليل تأثير قوى الاحتكاك على طرفى النموذج بتشحيمها بالبارافين مثلا.

فى الشكل ٢ — ١٧، b ، توضح طبيعة انهيار مكعب الحجر فى حالة عدم تشحيم الاطراف. وفى الشكل ٢ — ١٧، c فى حالة تشحيمها.

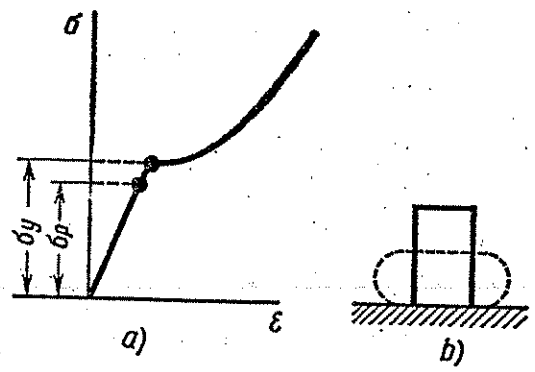


الشكل ٢ — ١٧

وقد بدأ مؤخرا استعمال نماذج مجوفة ذات نهايات مخروطية السطح عند اختبار الانضغاط (الشكل ٢ — ١٧، d).

وباختيار المقدار المناسب للزاوية المخروطية، يمكن تقليل قوى الاحتكاك بدرجة كبيرة. ان هذه المسألة الهامة جدا حول تأثير قوى الاحتكاك على متانة النموذج تتطلب اجراء ابحاث لاحقة تجريبية ونظرية.

ان الرسم البيانى لانضغاط مادة هشة مشابه للرسم البيانى لشد تلك المادة (انظر الشكل ٢ — ١١). والانهيار يحدث عند تشوهات صغيرة. ويعطى الرسم البيانى امكانية تحديد حد المقاومة σ_{uc} والتشوه النسبى الدائم عند الانهيار .



الشكل ٢ — ١٨

ويكون حد المقاومة عند الانضغاط σ_{uc} للمواد الهشة اكثر بكثير من حد المقاومة عند الشد σ_{ut}.

ان الرسم البيانى النموذجى لانضغاط المادة اللدنة (البلاستيكية) (كالفولاذ المنخفض الكربون) موضح فى الشكل ٢ — ١٨، a. فى البداية يكون الرسم البيانى للانضغاط مشابها للرسم البيانى للشد، وبعد ذلك يرتفع المنحنى الى اعلى اثر توسع مساحة مقطع النموذج وتصلب المادة. وفى هذه الحالة لا يحدث انهيار. بل يتمدد النموذج فقط (الشكل ٢ — ١٨، b) وهنا يجب ايقاف التجربة. ونتيجة للاختبار يبين حد الخضوع عند الانضغاط. ان حد الخضوع فى حالة الشد والانضغاط للمواد اللدنة لا يختلف عمليا، ولكن منطقة الخضوع فى حالة الانضغاط اصغر بكثير منها فى حالة الشد.

ز — الخواص الميكانيكية للبلاستيك

لقد ازداد فى الاعوام الاخيرة استعمال مواد جديدة فى الانشاءات، وهى مبنية على اساس البوليميرات الطبيعية والصناعية والتى تسمى باللدائن او البلاستيك.

ان البلاستيك اما يكون عبارة عن راتينج صاف، او مركب من الراتينج وعدة مركبات أخرى مثل الحشو، الملدن، الموازن، الصبغة، وغيرها.

وينقسم البلاستيك تبعا للحشو المستعمل الى: مؤلف ورقائقى. والبلاستيك المؤلف ينقسم بدوره الى مسحوقى وليفى وحشو على شكل نحاتة.

ويستعمل الحشو العضوى وغير العضوى لتعديل صفات المواد، وتحسين خواص المادة الفيزيائية — الميكانيكية والاحتكاكية وغيرها، كذلك لتخفيض تكاليفها.