

## الباب الخامس عشر الكسور نتيجة إجهاد الكتل Creeping Cracks

15- نبذة عن خواص المعادن .

### 15.1- الخواص الفيزيائية .

يقصد بالخواص الفيزيائية جميع الصفات التي تتصف بها المعادن شاملة الخواص الميكانيكية ، والتمدد الحرارى والوزن النوعى ودرجة حرارة الإنصهار والحرارة النوعية والخواص فى المجالات الكهرومغناطيسية والخواص الكهروحرارية والكيميائية وغيرها .

### 15.2- الخواص الميكانيكية Mechanical properties of Metals .

تعرف بالتغيرات أو المقاومة التي يبديها المعدن أو إنفعاله بالإجهادات المؤثرة عليه سواء أثناء التشغيل أو التشكيل وتعتبر الخواص الميكانيكية مهمة وذلك لإعطائها صورة تكاد تكون شاملة لصفات المعدن ومدى إمكانية تشكيله فى الظروف المختلفة التي تملئها الظروف الصناعية المختلفة ولذلك يجب أن نولى هذه الخواص عناية خاصة فى حدود المدى الذى يسمح به هذا العمل وذلك بتعدد وسائل تطبيق القوى المؤثرة على المعدن - إستاتيكيًا أو ديناميكيًا حسب الظروف المختلفة فى التشغيل - ولقد أمكن تقييم سليم للمعادن والسبائك المختلفة مع التطبيق السليم إقتصاديًا ويجدر بنا أن نوجز أهم الخواص الميكانيكية والإصطلاحات المتداولة وإيضاح معانيها .

15.2.1- الأحمال الإستاتيكية هى القوى أو الحمل الذى يطبق على المعدن

تدريجياً وببطئ إلى حد معين ثم يثبت هذا الحد لدراسة أثره على المعدن .

15.2.2- الأحمال الديناميكية Dynamic load وهى الحمل الذى يطبق على

المعدن إما بصورة فجائية ( الصدمة sudden or compact ) أو حمل متكرر

أو دورى cycling ومن الممكن أن يتغير الحمل ويكون معدل تغييره بالنسبة

للزمن frequency .

15.2.3- الجهد Stress هو الحمل على مساحة المقطع أو نصيب وحدة مساحة

مقطع من عينة المعدن تحت الإختبار من الحمل المطبق عليه .

15.2.4- الإنفعال Strain هو مقدار التغيير النسبى فى شكل وأبعاد المعدن نتيجة

الإجهاد المطبق عليه .

15.2.5-المرونة Elasticity وهى قابلية المعدن للتشكيل بانتظام بتأثير الإجهادات وعودته إلى شكله الأصلي بزوال تلك الإجهادات .

15.2.6- اللدونة plasticity هى قابلية المعدن للتشكيل بتأثير الإجهادات تشكيلا دائما دون الرجوع إلى شكله الأصلي بزوال المؤثر . .

15.2.7-الصلادة Hardness هى مقاومة المعدن للتغلغل والخدش والتآكل والإختراق .

15.2.8- الصلابة Solidity هى خاصية تماسك المادة .

15.2.9- القصفة Brittleness الهشاشة أو قابلية المعدن للكسر عند تعرض المعدن للإجهادات بدون إنفعال .

15.2.10-المتانة Toughness عكس القصفة وذلك لتحمل المعدن للصدمات ومقاومة الإجهادات .

15.2.11-الليونة Softness سهولة تغيير الشكل بالإنحاء أو الإلتواء .

15.2.12- الطروقية Malleability هى مطاوعة المعدن للطرق والضغط أو العصر بالدرافيل .

15.2.13-المطيلية Ductility إستجابة المادة للإستطالة عند تطبيق جهد الشد عليها.

15.2.14- قابلية الإنسياب Flowability وهى سريان المعدن بصورة متماسكة عند درجات الحرارة العالية .

15.2.15- الجمعاء والرساخة والكراسة Rigidity and stiffness هى مقاومة المعدن لإبداء إنفعال تحت تأثير الإجهادات .

15.2.16- الرجوعية Resilience وهى خاصية رجوع المعدن إلى حالته الأولى بعد زوال الإجهاد قبل حد المرونة .

15.2.17-الكلال أو التعب Fatigue هى ظاهرة إنهيار المعدن تحت تأثير الإجهادات المتكررة .

15.2.18- ألتحمل والصمود Endurance هى ظاهرة تحمل وصمود المعدن أمام الإجهادات المتكررة .

### 15.3- الإختبارات الميكانيكية .

يمكن تقسيم الإختبارات الميكانيكية إلى :

15.3a- إختبارات إستاتيكية .

15.3b- إختبارات ديناميكية .

15.3c-إختبارات إستاتيكية أو ديناميكية تحت ظروف خاصة .  
الإختبارات الإستاتيكية .

وأهمها الشد والضغط والقص والانحناء والصلادة .

15.3a1 إختبار الشد .

يعتبر أشهر وأعم أنواع الإختبارات الميكانيكية لأن نتائجها تعطى صورة تكاد كافية لتقييم المعدن المطلوب إختباره ودراسته وسوف تقتصر الدراسة على الجانب التحليلي .

وفى هذا الإختبار تُشكل عينة المعدن المراد إختباره بشكل مناسب ليسهل تثبيتها بين مقبضى آلة الشد ويتم تعريضها لقوة شد حتى الكسر . ومقطع العينة يكون فى شكل مستطيل وبطول معين و طولها لا بد أن يكون بالقدر الكافى لتوزيع الإجهاد المنتظم على مقطع العينة وقوى الشد تنتقل من آلة الشد إلى العينة بصورة مركزة عند نقطة تثبيت العينة ثم توزع تدريجيا بالإبتعاد عن منطقة التثبيت ويعرف ذلك بجهد أو إجهاد الشد على وحدة مساحة المقطع .

$$\text{stress } \sigma = \frac{\text{Force}}{\text{area of section}} = \frac{N}{m^2} \quad \text{الجهد}$$

وبواسطة آلة الشد يقاس الإنفعال الظاهر فى العينة نتيجة الجهد المطبق على طول العينة المعين مقاس  $L_0$  والإنفعال يكون بالنسبة المئوية للتغيير فى الطول الأسمى  
الإنفعال =  $\frac{\Delta L}{L_0} \times 100$  .

وبمراقبة تطور الإنفعال الحادث بتطور الجهد وتسجيل ذلك فى علاقة بيانية يمكن الحصول على منحنى الجهد .

أما الضغط ، القص ، والانحناء تتشابه هذه الخواص فى صفاتها فى حدود المرونة ولكنها تتباين عند التطور إلى التشكيل اللدن فإجهاد الضغط يتناسب معه الإنفعال السالب ( بالإنكماش فى طول وزيادة مساحة المقطع ) والعلاقة مطابقة لإجهاد الشد داخل حد المرونة . وعند تجاوز جهد الضغط لحد المرونة فإن مساحة المقطع تزداد - عكس الشد - وبالتالي تزداد مقاومة المعدن لإجهاد الضغط باضطراد وهذه الزيادة تستمر إلى ما لا نهاية فى المعدن اللدن بينما تنهار المعادن الهشة بالكسر عند مستويات معينة - مستوى أقصى جهد قص - وإجهاد القص يسلك نفس الطريق فى حدود المرونة بجانب أن إجهاد القص يكون دائما هو الإجهاد الفعال فى نهج التشكيل اللدن فى كل الصور سواء الشد أو الضغط أو القص أو الانحناء .

ما تقدم يعتبر مدخل لدراسة إجهاد الكلال -التعب -

## Fatigue or Creeping Cracks .

### 15.4- الكسور نتيجة إجهاد الزحف ( التعب ) Creeping Cracks.

يعرف الزحف ( التعب أو الكلال ) أنه إنفعال لدن بطى للمعدن تحت إجهاد ثابت . وفى دراسة خواص الزحف للمعادن وسبائكها نجد أنه يوجد عدة متغيرات مثل درجة الحرارة ، الجهد stress الواقع على المعدن ثم الإنفعال Strain أو الزحف Fatigue مع الزمن فعندما ترتفع درجة حرارة المعدن ينخفض معها الجهد اللازم لحدوث إنفعال معين فى زمن معين أو بمعنى آخر عند وقوع جهد معين فى زمن معين يزداد الإنفعال الناتج بارتفاع درجة الحرارة . وعلى العكس فى حالة الإجهاد عند درجة الحرارة العادية حيث يتوقف الإنفعال عندما يتصلد المعدن بالإنفعال Strain hardening بالقدر الكافى الذى يكفى لمقاومة الجهد فإن الزحف ( فى درجات الحرارة المرتفعة ) يستمر حتى الكسر بدون توقف .

وشكل 1-15 يعطى مثالا لخواص الزحف فى الصلب الكربونى الممثلة بالخطوط المستمرة لمقدار الزحف ليعادل 10 % مقارنة بالخواص الميكانيكية المعتادة (الإختبار فى زمن قصير) كما هو موضح بالشكل 1-15 .

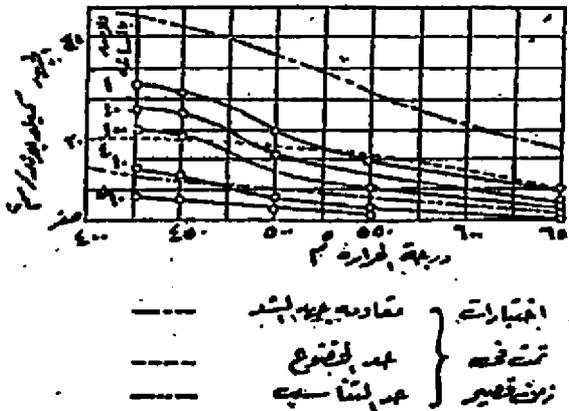


Figure 15.1

### 15.5- تحليل تطور الزحف فى المعادن .

عند إجراء تجربة زحف على معدن بإجهاده بجهد معين ثابت تحت درجة حرارة مرتفعة ثابتة ومع مراقبة الإنفعال مع الزمن يمكن إيجاد العلاقة الموضحة فى شكل 2-15 المبسط ، ومسلك هذا المنحنى لا يختلف كثيراً عن منحنيات الزحف



ولو تغير الحمل في هذه المرحلة ليبقى الجهد ثابتاً ( لنقص مساحة المقطع ) فإن معدل الزحف يظل ثابتاً كما هو في المرحلة الثانوية حتى الكسر، وتسمى المرحلة الثالثة للزحف بالمرحلة النهائية final creep .

#### 15.6- العوامل المؤثرة على خواص الزحف .

توجد عدة عوامل تؤثر على خواص زحف المعادن وسبائكها وبدراسة هذه العوامل وتجميعها يمكن التعرف على خواص الزحف ، على سبيل المثال فإن ارتفاع درجة حرارة إنصهار المعدن أو السبيكة يوحى بتحسّن الخواص الميكانيكية عند درجات الحرارة العالية ولكن ذلك لا يعتبر مقياساً مطلقاً لخواص الزحف فقد تختلف خواص الزحف لسببكتين متشابهتين في التركيب الكيميائي لعدة عوامل أخرى أهمها حجم الحبيبات Grain size .

#### حجم الحبيبات Grain size .

ولكون الكسر في حالة ارتفاع درجة الحرارة وببطء معدلات الإجهاد ( حالة الزحف ) يقع على حدود الحبيبات فإنه من المتوقع أن تبدى الحبيبات الغليظة خواص أحسن من الحبيبات الدقيقة في هذه الحالة بينما تتصف الحبيبات الدقيقة بخواص جيدة في درجات الحرارة المنخفضة لذلك يستفاد من هذه الظاهرة عملياً في اختيار طريقة تشكيل الأجزاء المعرضة لدرجات الحرارة العالية مثل ( أجزاء التربينات الغازية وما شابهها بحيث تسمح بالتحكم في حجم الحبيبات والحصول على حبيبات غليظة عن طريق السباكة وليست عن طريق الحدادة ( تفضل طريقة السباكة لسهولةاها عن الحدادة في حالة السبائك التي تتحمل درجات الحرارة العالية ) .

#### التصلد بالتشكيل Strain hardening .

تتأثر خواص الزحف للمعادن بدرجة تشكيلها على البارد ( بتصليدها بالتشكيل على البارد ) وبذلك تتحسن الخواص إلى درجة تشكيل معينة ويتوقف ذلك على المعدن وتعود بعدها إلى السوء .

و شكل 3- 15 يوضح هذه الظاهرة وفي الحقيقة يجرى سباق بين عاملين متناقضين درجة التصلد بالتشكيل وإعادة تبلور المعدن بارتفاع درجة الحرارة الذي يصاحبها ليبن في المعدن وبالتالي إنخفاض في مقاومة الزحف وهذا الأثر يبدو واضحاً في تحول المحل الهندسي لنقطة النهاية العظمى للمنحنيات نحو درجة تشكيل أقل بارتفاع درجة الحرارة .

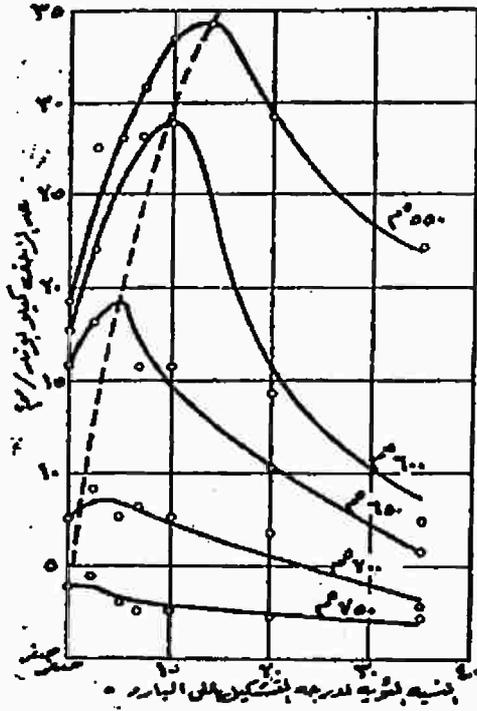


Figure 15.3

ومن المعروف أن التشكيل على البارد ينتج حبيبات دقيقة وأما الحبيبات الناتجة من إعادة التبلور فإنها تتوقف على درجة التشكيل على البارد وقد تفوق أو تقل في أحجامها عن تلك الأحجام التي كانت عليها قبل إعادة التشكيل على البارد وبجانب ذلك قد تتبع إعادة التبلور نمو الحبيبات وتغليظها إذا كانت درجة الحرارة عند الزحف مرتفعة بالقدر الكافي لتحقيق ذلك وبالتالي تتأثر خواص الزحف تبعاً لذلك

#### 15.7- المعاملات الحرارية .

تتوقف خواص الزحف على المعاملات الحرارية التي أجريت على المعدن وشكل 15-4 يوضح مثلاً لصلب كربوني 0.11% كربون + 0.52% موليبدنيم يتم تحت جهد قدرة 13 كيلوباوند / مم مربع ودرجة حرارة 550 درجة مئوية وعولج بمعاملات حرارية مختلفة كما هو مبين .

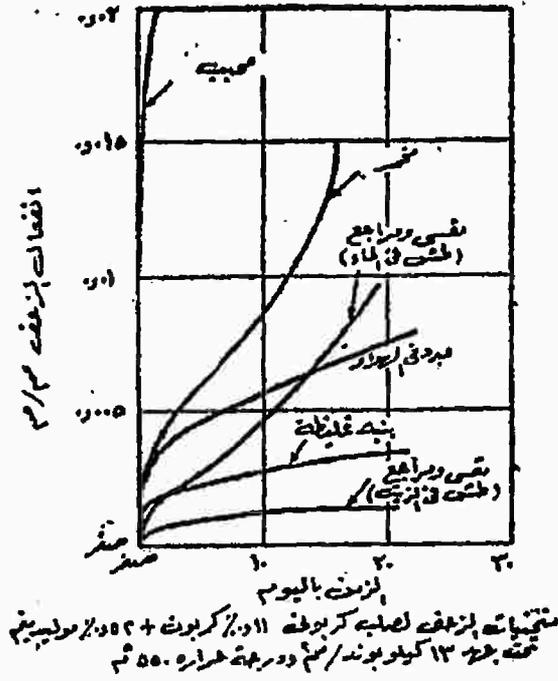


Figure 15-4

#### 15-8- إختبارات الاسترخاء Relaxation tests.

هذه الإختبارات تهتم بخاصية بقاء الجزء الموجود تحت الإنفعال (استطالة لأدنة) ثابتة بعد إجهاده بدرجات الحرارة المرتفعة ففي بعض الأحيان يحتاج الأمر كما هو في المراجل وأجزاء التربينات إحكام ربطها بمسامير رباط (برشام أو قلاووظ) إحكاما يكفي لمنع التسرب تحت ظروف الضغط ودرجة الحرارة العالية للتشغيل وفي بعض الأحوال يلجأ إلى إجراء البرشمة على الساخن ليتم الإحكام حينما تنخفض درجة الحرارة وبالتالي يرتفع جهد الربط التي تعاني منه المسامير في حدود المرونة ولكن بارتفاع درجة الحرارة تتفعل المسامير بالتمدد جزئيا بإنفعال لدن فيقل جهد الربط (إسترخاء) ولكنه في نفس الوقت يميل إلى التوزيع المنتظم بين المسامير المشتركة في عملية الرباط وبانخفاض جهد الربط تقل تبعاً لذلك درجة الإحكام، وإختيار المعدن المناسب لهذه المسامير لتعطي جهد ربط معين لزمان معين ويجب عمل إختبار خواص إسترخاء للمعدن وتجري هذه الإختبارات لإيجاد العلاقة بين الجهد عند درجة حرارة معينة والزمن للحصول على إنفعال معين ثابت (وفي المعتاد تمثل هذه العلاقة بيانياً على

مقياس لوغارتمى مزدوج ) وذلك بقياس الجهد المتبقى فى العينة على فترات متباعدة من الزمن وبذلك يمكن تحديده (على ضوء هذه النتائج ) وجهد الربط الأول اللازم يسمح بجهد ربط متبقى كافى لأداء الإحكام المطلوب .  
ومن الواضح أن هناك خاصيتان أساسيتان تتحكم فى سير هذه العلاقة .  
الأولى : خاصية التصاد بالتشكيل اللدن الناتج من جهد الربط الأولى .  
الثانية :خاصية التخمير Annealing الذى يحدث نتيجة إرتفاع درجة الحرارة وعلى ضوء سيطرة إحدى الخاصيتين يتم تحديد الإسترخاء المطلوب للمعدن .

### 15.9- الإختبارات الديناميكية Dynamic tests .

ليست كل المنشآت وأجزاء المحركات معرضة لإجهادات إستاتيكية بحتة بل إن من العسير أن يقتصر تطبيق الإجهادات الإستاتيكية منها فإن معظم هذه الأجزاء ستعرض إلى التغيير فى الإجهادات ، وقد يكون التغيير فى الإجهاد فى حدود ضيقة ( مثل الأجزاء التى تتعرض للتغيرات العادية فى درجات الحرارة بين الليل والنهار أو الصيف والشتاء ) وقد يكون التغيير من العنف بحيث يصبح هو السبب الرئيسى فى الكسر أو الإنهيار .

ولهذه الدراسة أهميتها القصوى لأن الكسور بسبب الإجهادات الديناميكية تمثل % 90 من أسباب الإنهيار فى أجزاء الآلات ويطلق على التغيير فى الإجهاد بالإجهاد الديناميكي وإستمرار الإجهاد الديناميكي يؤدى فى المعتاد إلى الكسر بالرغم من وقوع هذه الإجهادات فى نطاق حدود المرونة فى معظم الأحوال ويقع الكسر دون ظهور تشكيل لدن أى يكون الكسر من النوع الهش ، ونظراً لإختفاء آثار التشكيل اللدن قبل الكسر فإن الكسر يقع بصورة فجائية دون إنذار أو ملول سابق له ويطلق على الكسر أو الإنهيار بتأثير الإجهادات الديناميكية بالتعب أو الكلال .

### 15.10- ظهور شروخ إجهاد الزحف Appearance of creeping cracks .

كسور الزحف لها رؤية مميزة مبنية على ثلاثة دلالات متوالية تبدأ عند نقطة الإجهاد المركزة وتكون البداية بشرخ صغير جداً وهذه هى ( الدلالة الأولى ) وتمتد الفواصل بين الوجهين ببطئ ويكون مظهر الأسطح فى هذه المرحلة ملمساء ومستوية ويكون هذا مكان أصل منشأ كسر الزحف وعادة ما يكون مكان أصل منشأ شرخ الزحف غير قابل للخطأ وخطوطه ظاهرة ومتشعبة .  
ويكون هناك علامات مموجة متوالية لحدود الشروخ ومحاور تشير إلى نقطة

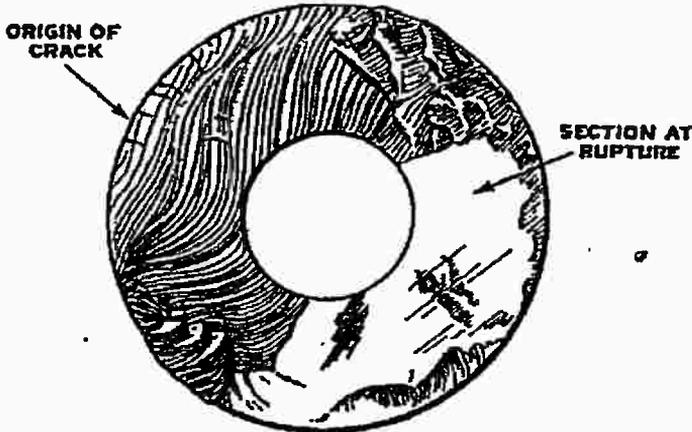
البداية . كما أن شروخ الزحف عبر المقطع الفاصل بين السطحين المتائلين تميل إلى أن تصبح أقل نعومة .

ومن المحتمل أن توجد في نهاية منطقة الشرخ وجود سطح خشن وحاد الزوايا وهذه هي الدلالة الثانية وعندما يتشعب الشرخ إلى الداخل لمسافات كبيرة تكون المساحة المتبقية غير قادرة على مقاومة الأحمال المتكررة ويحدث الكسر فجأة . ويكون مقطع الكسر واضح مع رؤية بلورات لامعة ، وخلفيات معتمة ، وسطح أملس في المناطق الأولية ، ويحدث غالبًا بعد الكسر أن يكون هناك إحتكاك عنيف بين السطحين المنفصلين ومن المحتمل أن يكون الإحتكاك موضعى وتدل عليه هيئة الأسطح .

وكسر سبيكة الصلب عادة ما تكون أسطحها ملساء ومستوية نمبيًا عبر مساحة المقطع

### 15.11- أمثلة لكسور الزحف Examples of creep cracks

ويوضح شكل 5- 15 إنبهار المعدن بسبب إجهاد الإنحناء ، ومحاولة لتوضيح السمات السابقة يوضح شكل 6- 15 صورة فوتغرافية لمقطع حقيقي للشكل رقم 5- 15 وتشير إلى منطقة الكسرمع الإستدلال لدراسة الخصائص ووجود علامات محارية الشكل وفي شكل 7- 15 خصائص أخرى لإنهيار المعدن نتيجة الكلل (التعب) fatigue failure بواسطة الإنحناء .



EXAMPLE OF CREEPING CRACK

Figure 15-5

الشكل 8-15 مثال مميز للإنهيار نتيجة الكلال ويوضح المقطع لعمود صمام عام قطر 40 مم وكانت بداية الشرخ الرئيسى فى المنطقة x والمشار إليها بالعلامة x ، وكانت الخطوط التالية للزحف إلى الداخل بمعنى أن الشرخ متتابع ومحدد جيدًا ، بالإضافة إلى علامات ثلاث أماكن لشروخات أخرى واضحة وظاهرة .

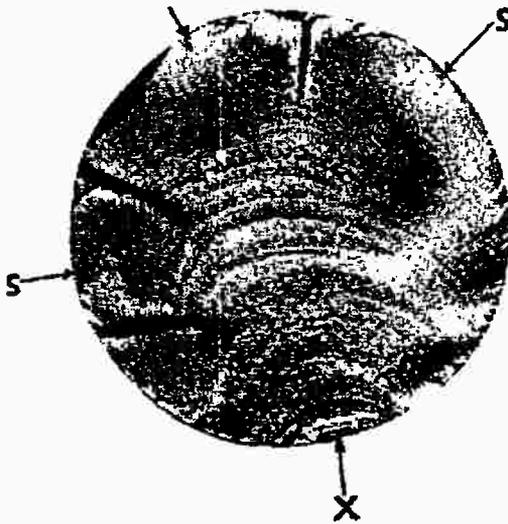


*Figure 15.6 fatigue , or creeping crack failure*

ومع تطور كسور الزحف نتيجة الإجهادات التى تكون بنفس الشئى ، وفى هذه الحالة تتبع إجهادات الكسر طريق مخروطى يزيد أو ينقص . ويكون أملس فى بداية مراحلها ويصبح بعد ذلك أقل نعومة كما أنه يتبع نفس الطريق ويوضح هذا شكل 9-15 والذى يوضح بداية الشرخ من ثقب مسمار القلاووظ الذى يعمل على تثبيت الخابور فى مجرى الخابور لطارة الإدارة ، ويوضح شكل 10-15 إنهيار المعدن بسبب جهد التعب ( الكلال ) *fatigue stress* لتجويف بنز المكبس ويلاحظ أن النهاية اللامعة ولا يوجد بها شرخ .



*Figure 15 . 7 creeping crack by bending*



*Figure 15 . 8 Exhaust valve spindle*



*Figure 15-9 torsional creeping crack*

وفي شكل 15-11 يوضح الشكل لكسر مسمار تجميع وفي هذه الحالة يبدأ الشرخ من عيب تحت القشرة ويزحف عبر المقطع حتى التمزق وغالبًا ما يحدث كسر قطري عكس نقطة البداية .  
ويوضح شكل 15-12 مقطع كبير لسن قلاووظ موضوع تحت حمل متكرر قوى ويلاحظ إنهيار سن القلاووظ وبدء كسر الزحف عند النقطة x ويلاحظ أن الأسطح ملساء حتى النقطة y .

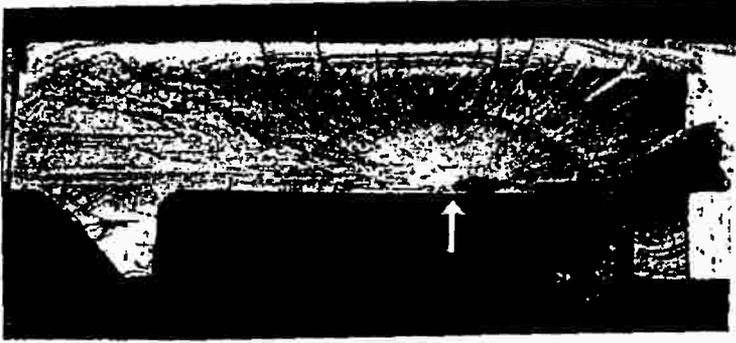


Figure 15-10 creeping crack in hollow gudgeon pin

حيث يصبح السطح خشن بعد ذلك ويكون التمزق في النهاية قريب من النقطة z .  
 وإذا وقع مسمارين أو عمودين tie rods تحت حمل ديناميكي وكانت نتيجته  
 إنهار هذه الأعمدة فإن الإنهيار يبدأ بعمود فقط وتتبعه الأعمدة الأخرى .

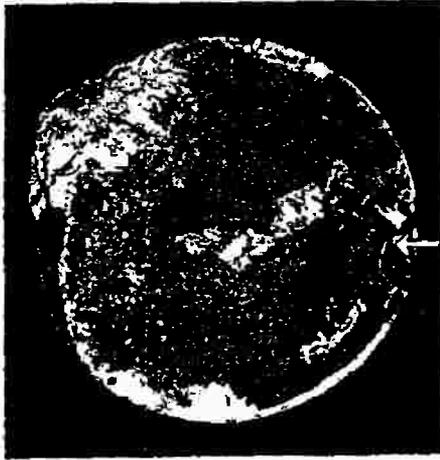


Figure 15.11

وتحدث إستطالة في بعض الأحيان عند تجميع أجزاء المحركات رباعية الأشواط  
 بواسطة أعمدة الربط مع تكرار الحل والربط يحدث لها إستطالة وتتهار بدون  
 تأثيرها بجهد الزحف وربما يتشابهه بالجزء العلوى من الشكل 7- 15.

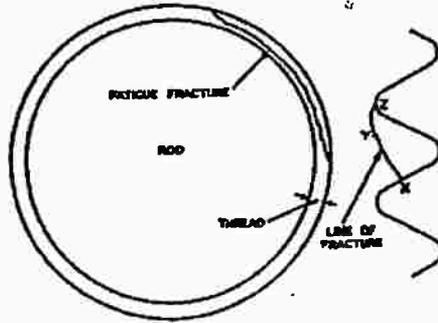


Figure 15-12

ويوضح شكل 15-13 كسر في الجزء العلوي لدليل مصنوع من سبائك الصلب لبنز عمود

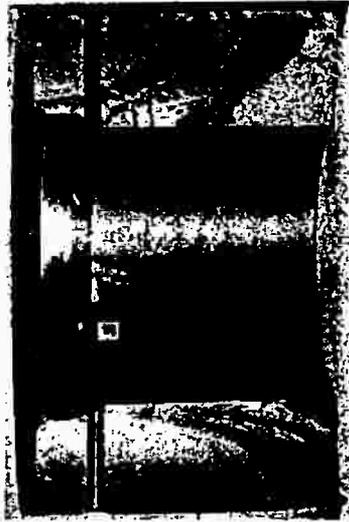
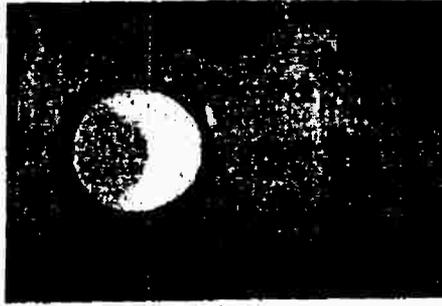


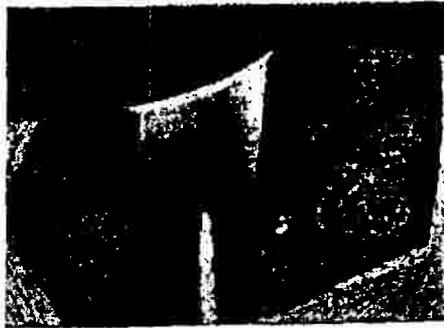
Figure 15-13

محورى لنوع محرك على حرف V ويوجد هناك شرخين طوليين محددين نتيجة إجهاد الكلال وبدايتهما من النهاية الطرفية المعاكسة لتقب زيت التزيت على شكل تجويف مخروطى ، ومن الواضح أن كل من الشرخين يخالف الآخر فى الإتجاه ويدل هذا على عدم حرية البنز مما إستدعى فى المستقبل أن يكون تقب الزيت على شكل منحنى إتصال fillet وتسلك تقوب الزيت طرق متغيرة ووعرة وفى هذه المناطق يكون تأثير الإجهاد قوى ومركز ، والعلامة m صورة مكبرة لتقب الزيت فى شكل 15-13 والموضحة فى شكل 15-14a ويوجد شروخ قصيرة

على كل جانب من ثقب الزيت ، وهذه الشروخ كشفت عن المقطع المناسب وإظهار خصائص الإنهيار بواسطة الكلال كما هو موضح في شكل 15-14b .



(a)



(b)

Figure 15.14 a,b

ويبين نتيجة الفحص أن البنوز والمسامير كانت تحت إنفعال زائد عند ثقب الزيت مما يلزم عدم عمل ركن حاد لأخرام الزيت ويجب أن يستبعد ، وأكثر من ذلك ويجب أن تمر ثقب الزيت بعيدًا عن مقطع الأقطار المتغيرة والإجهادات المجمعّة .

### 15.12- التصدعات والإجهاد – المجمع Flaws and stress – raisers .

يصعب كثيرًا تحديد أسباب بدء كسر الزحف وهذا نادرًا ما يكون بسبب إجهادات التصميم .

وبناءً عليه يمكن البحث عن تجمع الإجهادات في أماكن مثل الزوايا الحادة في عملية صب المعادن وعدم تشكيلها على هيئة منحنى إتصال fillet والتسارع الثانوى الذى قد يكون مسمولاً عن ذلك إلخ .

وشكل 15-15 يبين مثال لزحف جزء بناءً على وجود حسابات إختبار طويلة لقياس الإنفعال وتحليله والذي يكون محصن ضد الإنهيار .



Figure 15-15

وتبين الصورة لطوق لا مركزى من الصلب المسبوك يقع تحت أقصى إجهاد ثنى عند تشغيله لا يزيد عن 1.75 كيلوجرام قوة/مم مربع ونجد عند نهاية حافة الجزء المصبوب حدوث تصدعات عميقة نتيجة للإجهادات ، ومن الخصائص التى يمكن إقتراحها أن التمزق يحدث عند درجة الحرارة العالية ويبدأ عندها تصدعات كسر الزحف ، ومعظم الإنتشار الكامل للشروخ عبر المقطع قبل حدوث التمزق النهائى ، وتكون حجم الحبيبات فى عنصر الصلب المصبوب معقولة عند صب كتلة الطوق اللامركزى وعموما تكون البنية المجهرية مطابقة مع المعالجة الحرارية السليمة ، ووجود عنصر الكبريت مع معدن الصلب المصبوب يقلل من متانته ويزيد من هشاشيته وخصوصًا عند إرتفاع درجة حرارته ومن المحتمل كسره ، ومن الطبيعى الا تزيد نسبة عنصر الكبريت فى مركبات الصلب عن 0.1% والآتى يوضح نقطة الخضوع yield point 23 كيلوجرام قوة/مم المربع والإجهاد الأقصى 46 كيلوجرام قوة / مم المربع و

31 % إستطالة أى حوالى 75 مم ، ونقص فى المساحة بحوالى % 75 ، غند ثنى قطعة بطول 25 مم وعرض 19 مم إلى 180 درجة وكان نصف قطر الإنثناء 6.4 مم بدون كسر .

وهذه بعض قيم الصدمة باستخدام جهاز أوزود 3.2 ، 3.5 ، 2.8 كيلوجرام /مم المربع .

ويكون هذا الإنهيار واضحا بسبب تمركز الإجهادات عند العيب الأسمى . وكثيرًا من الأطواق اللامركزية المصبوبة من الصلب والتي تتهار بسبب جهد الكلل والتي كانت تحير فى الماضى وبدء سريان الشرخ داخل الجزء المصبوب حيث يكون هناك إجهادات داخلية عالية وتكون أسطح الكسر ظاهرة وخصائص الإنهيار نتيجة تعب المعدن عبر المقطع تصل % 95 من مساحة المقطع قبل حدوث الكسر النهائى ، ومن المحتمل عمليًا أن ينتشر الشرخ ببطئ نسبيًا ، وقد يكون الإجهاد مؤثر بوضوح فى حدود المعدن وعادة ما تسبب هشاشية المعدن نتيجة إجهادات التعب .

وفى الحقيقة يكون قهر المعدن بسبب عدم المرونة ، مثال ذلك إنهيار طوق لامركزى لأحدى سفن الركاب والبضائع passenger cargo vessel بعد 20000 ساعة من الخدمة ولقد تم عمل إختبار طرقي مع فحص حيز صندوق المرفق قبل الإبحار وحدث الإنهيار ولم يلاحظ أى شئ على الطوق حتى ظهور صوت مسموع .

تم إيقاف المحرك فى الحال وتم تحديد العيب وتم تركيب طوق آخر بواسطة طاقم السفينة ويرجع هذا إلى عدم رباط مسامير التثبيت جيدًا .

ومن الطبيعى يقاس الإنفعال عند إجهاد تشغيل يصل إلى 1.42 كيلوجرام قوة / مم المربع كحد أقصى فى مكان الإنهيار ، ومع تراخى مسامير الرباط يتضاعف الجهد عند الطوق ويتم إتلافه وتكون النتيجة أن الإجهادات المحلية ترتفع إلى 5.12 كيلوجرام قوة /مم المربع ، وتشير كسور الكلل الطبيعية عند صب الطوق بعيوب فى الصب .

وهذه نتائج الإختبارات الميكانيكية التى تم الحصول عليها لقطعة فى مكانين قريبين من الكسر بقدر الإمكان للطوق ويعطى النتائج الآتية .

	<i>First point</i>	<i>Second point</i>
Yield point . ton / in <sup>2</sup>	18.8	19.2
Yield point . kgf / mm <sup>2</sup>	19.6	30.3
Ultimate stress ton f / in <sup>2</sup>	30.6	31.6
Ultimate stress kgf / mm <sup>2</sup>	48.2	49.8
Percentage elongation	13	17
Percentage area reduction	21	27
Izod Impact . ft lbf	38 , 34 , 34	40,35 ,35
Izod Impact . kgfm	5.3 , 4.7 , 4.7	5.5 , 4.8 , 4.8

### 15.13- نهج الكسرياجهاد الكلال .

يبدأ الكسر فى هذه الحالة من شرخ دقيق من الممكن أن يكون فى المعدن من قبل أو قد يولد نتيجة تركيز حاد فى الإجهادات وبمجرد تواجد هذا الشرخ الدقيق والذى تتميز أطرافه بتركيز الإجهادات فى وجود (تأثير الحز) notch effect فإن سريانه وتقدمه داخل المعدن يعتبر أمرًا حتميًا بتكرار إجهاد الكلال حتى إذا ما إستمر الحمل ثابتاً وذلك فإن الجهد سيرتفع لقلّة مساحة المقطع وفى أثناء سريان الشرخ وتطوره يعمل على صقل وجهى المعدن الذى يفصل بينهما الشرخ وذلك بفعل الإحتكاك بينهما ويستمر تطور الشرخ إلى المدى الذى لا تحمله مساحة مقطعه مع مقاومة الجهد المطبق فيحدث الكسر فجأة ويتطبع الكسر فى الجزء الأخير بطبيعة الكسر الهش لأنه لا يقع تحت تأثير لدن سابق ويظهر على شكل حبيبي (بللورى) ومن هذا يمكن الإستدلال على الكسر بأنه نتيجة لإجهاد الكلال

fatigue stress وتوجد منطقتين متباينتين فى مقطع الكسر المنطقة الأولى مصقولة والثانية حبيبية ، وتتوقف درجة صقل المنطقة الأولى على عدد دورات الحمل التى تمت منذ لحظة تولد الشرخ ولحظة حدوث الكسر بينما يتوقف شكل المنطقة الثانية على حجم حبيبات المعدن وفى كثير من الأحيان تبدو على شكل أقواس فى المنطقة الأولى للكسر ممتدة إلى المركز ( مركزها يشير إلى منطقة منبع الشرخ الأول ) وفى بعض الأحيان يصعب التعرف على المناطق المذكورة وبالتالي عدم التعرف على الكسر بإجهاد الكلال .

وفى المعادن أو السبائك الغير متجانسة فى مكوناتها مثل الحديد الزهر الرمادى والذى يكون فى تكوينه قشور جرافيتية منفصلة حيث تتشابه خواصها مع خواص

الشروخ ( الجرافيت هش ومقاومته منخفضة للإجهاد ) وهذه هي الصفة البارزة في مثل هذه الحالات .

وإتجاه مستوى مقطع الكسر في إجهاد الكلل يتوقف في المقام الأول على نوع الإجهاد فإجهاد الشد والضغط والإنحناء ينتج عنها كسرًا عموديًا على إتجاه الجهد ( محور الجزء ) بينما يكون مستوى الكسر مائلًا بزاوية تبلغ نحو 45 درجة على الإتجاه المذكور في حالة إجهاد الإلتواء المتكرر أى أن الكسر يكون بصفة عامة عموديًا على الجهد الأكبر للعمود Maximum normal stress ومن ناحية أخرى يتأثر المعدن بالإجهادات الداخلية المتبقية .

وشكل 15- 16 يوضح رسما تخطيطيا لطبيعة الكسر بالكلل حسب طبيعة الإجهادات المتكررة الواضحة ، وشكل 17- 15 يعطى مثالاً لمقطع الكسر بالكلل في المحور .

نوع الإجهاد	إجهاد أساسي مرتفع		إجهاد أساسي منخفض	
	بدون عز	عز	بدون عز	عز
شد				
انحناء من جهة واحدة				
انحناء من جهتين				
انحناء من جميع الاتجاهات				
التواء			شكالة الجهد لا أساسى لارتفاع	

انواع كسر لتعب (إساعة المرشزة تدك على كسر لاغير)

Figure 15-16



Figure 15 - 17

#### 15.14- التعب أو الكلال للمعادن Fatigue of metals .

إن المعدن يقال أنه كل أو تعب عندما ينكسر أو ينهار بتأثير الإجهادات الميكانيكية ، ومن المعروف أنه في منحنيات الجهد والإنفعال الاستاتيكي للصلب الطرى يطبق الحمل ببطئ كافي يمكن معه توازن الحمل مع رد الفعل الذي يبديه المعدن شكل 18a - 15 ولو تم إنقاص الجهد عند النقطة a إلى الصفر فإن المنحنى يتبع الخط  $A a A'$  تقريباً ، وعند إعادة التحميل نجد أن المنحنى يسلك الخط  $A' b B$  الذي يقع على يسار الخط  $A a A'$  أى أن هناك مساحة محصورة بين خطى التحميل وإزالة الحمل تعبر عن تخلف حاد  $Hysteresis Loop$  يمثل طاقة مفقودة تحولت إلى حرارة أثناء دورة التحميل ويلاحظ ارتفاع ملحوظ فى حد المرونة ونقطة الإستسلام B بسبب خاصية التصلد بإنفعال المعدن وعند الإستمرار فى التحميل إلى النقطة C ويرفع الحمل مرة أخرى فإنه يتكرر هبوط الإنفعال إلى الصفر مرة أخرى على الخط  $C'c$  وهلم جرا .

وإذا تم إعطاء المعدن فترة إستجمام لعدة أيام يعود الإنفعال عند النقطة C' أى عند الإجهاد صفر فإنه يشفى بعض الشئ وينتج عن ذلك إرتفاع نقطة الإستسلام إلى النقطة D .

أما لو إنعكس إتجاه الإجهاد إلى إجهاد ضغط شكل 18b - 15 فإن دورة إجهاد الشد



Figure 15-18 a, b

تمثل دورة إجهاد الضغط على طول خط LOM ونحصل على التعويق في حدود MPNLTUM .

وتمثل القيم OU , ON إجهادات التعويق عند زوال الإنفعال ، نتيجة خروج المعدن من مرحلة المرونة إلى مرحلة اللدونة بالإنفعال .

ويلاحظ أن مرحلة التعويق موجودة في كل المعادن ولكن مساحة حلقاتها تختلف من معدن لآخر، وتكبر بزيادة طراوة المعدن وتقل بعدم قابلية المعدن للإنفعال والإجهادات المتكررة في دورات متعاقبة وفي المثال المعطى لا تقتصر على حالة الشد والضغط ( الإجهادات العمودية ) بل تشمل كل الإجهادات بكامل أنواعها مثل القص sheer ، الالتواء twist ، الإنحناء bending أو مع مركب منهما مع إجهادات إستاتيكية مطبقة معها .

والأحمال المتكررة لكل حالات الإجهادات الديناميكية تتوقف عندها خواص مقاومة المعدن لهذه الإجهادات وعلى مقدار هذه الإجهادات ونوعها من الكيف والكم وعلى عدد مرات تكرارها .

ويمكن التفرقة بين مفهومين هامين في هذه الدراسة .

أولا : الجهد الديناميكي اللازم لنهج الكسر بعد تكراره لعدد من المرات يسمى بجهد التعب أو الكال fatigue strength .

ثانيا : أقصى جهد يمكن تطبيقه بتكراره عدد لا نهائى من الدورات دون الوصول إلى الكسر ويطلق على هذا الجهد حد الجند أو الصمود أو الإحتمال Endurance limit والذي يمكن عنده المعدن من الصمود أمام الجهد إلى مالا نهاية .

### 15.15- الإجهادات نتيجة النبضات Pulsating Stresses .

يبين شكل 15-19 بداية نشوء شرخ لكسر فرش محرك مصنوع من الحديد الزهر يبدأ عند النقطة A (خط كامل) ويستمر إلى النقطة B, C والنقطة D ثم يبدأ من النقطة f ليصل إلى النقط E , G وفي نفس الوقت ينشأ في الجهة الخلفية للدعامة شرخ يبدأ من النقطة 1 والمبين بالخط المنقوط ويزحف إلى النقطة 2 ، والنقطة 3 والنقطة 4 وفي الجانب الأيسر من محور عمود المرفق يماثله شرخ يظهر عند النقطة X ويستمر خلال النقطة Y إلى Z وأنواع هذه الشروخ تنمو في أقل من عام .

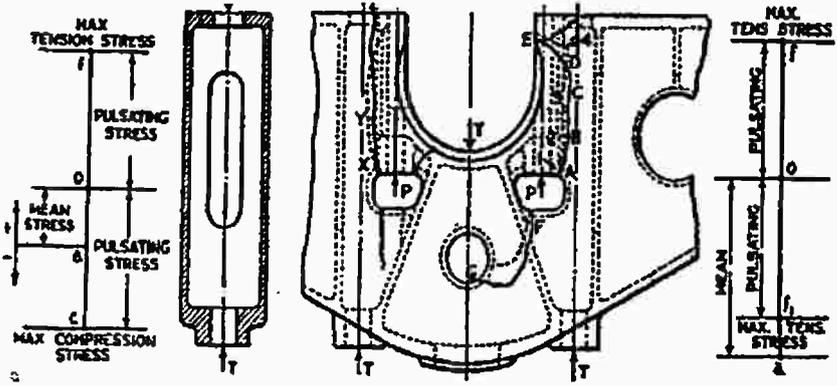


Figure 15-19

وبلا شك فإن تجميع بداية الشروخ تبدأ من النقطة A وفي كل وقت يصل فيه المكبس إلى النقطة الميتة العليا نهاية شوط العادم وينتقل جهد الشد من خلال مسامير ربط الكرسي الرئيسي إلى فرش المحرك وفي شوط الحريق يندفع المكبس إلى أسفل وهاتين القوتين المتفاعلتين تعملان على بدء نمو الشروخ ، ولذلك تكون هذه الشروخ خطيرة ويكون المحرك عرضة للخطر ، أما المناطق القوية على جانبي عمود المرفق Crank shaft يمكن تثبيت بها مسامير جاويط للرباط تكون أقل ضرراً وبالتالي يمكن الإستغناء عن عمل تجويف في الدعامة وعدم تعرضها للإنبعاث .

ولعمل الحسابات عند سبائك المعادن تستخدم طريقة موضحة بالشكل 15-19 البداية من النقطة a .

ac = maximum compressive stress , af = maximum tensile stress .

The Pulsating stress =  $oc = of = \left( \frac{ac+af}{2} \right)$  , and the mean stress =  $ao$

=  $\left( \frac{af-ac}{2} \right)$  , the total stress ( mean ) + Pulsating

ويجب أن يكون حدود الإجهاد مناسبة عند الصب ومن المدهش أن تكون فكرة التجايف الموجودة بالدعامة شائعة عند الصب ويكون جزء آخر مصاب بواسطة إجهاد الزحف مثل تلك الألواح الكبيرة لبدن السفينة بجوار القائم الخلفى والذي كان يقع عليه إجهاد زحف ووجد به شرخ بطول من 400 مم إلى 500 مم بالقرب من أحد نهايات اللوح ولقد كانوا المسؤولين من خبراء الصلب على رضاء كامل بقطع الجزء الموجود به الشرخ مع زيادة جزء بسيط من اللوح ولا يمكن التصور أن معظم إجهادات الزحف تقع على صورة واحدة وتوجد آراء تقول أنها تأخذ وقت للنمو عند إختبار الأسطح ويوجد شرخ بطى نسبياً فى النمو وآخر سريع .

### 15.16- الكسور نتيجة درجات الحرارة Heat Cracks .

غالبًا ما تبرد المحركات الحرارية بالمياه وتكون المياه فى جانب والحرارة فى جانب آخر كما فى جلبه ورأس الإسطوانة وربما يحدث الشرخ فى الأسطح الملامسة للحرارة وكثيرًا ما يقال أن هذه الشرخ نتيجة جهد الضغط أو الشد ولكنها ليست كذلك ولكن يرجع سببها لإختلاف درجة الحرارة بين سطحى مقطع المعدن ويسبب هذ إنحناء تمدد السطح الساخن نسبياً عن الجانب البارد ووقوع السطح الساخن تحت إجهاد الضغط وإذا كان الضغط عنيقاً بما فيه الكفاية فإن سطح المعدن الساخن يتكيف بنسب طفيفة باختلاف تحديد الشكل .

ويتعادل الإجهاد ويخزن وتحدث على سطح المعدن البارد ظواهر كبيرة نسبياً عن الجانب الساخن وينتج جهد شد عالى يعمل على ظهور شروخ موضعية ، ويجب أن يكون هناك كبح فى مكان ما بسبب هذه الظواهر وهذ ليس موجود .

### 15.17- إنهيار المعدن نتيجة اللحام . Welding Failures .

فى خلال أول رحلة لسفينة بضاعة لمواد مثلجة - سفينة ثلاججة - ذات خط ملاحى منتظم وكانت تسير بمحركات أحادية التأثير ثنائية الأشواط مزودة بشاحن جبرى ، لوحظ وجود شرخ كبير فى جلب الإسطوانات المصنوعة من الصلب المصبوب فى منطقة غرفة الإشتعال فى المسافة بين الجزء العلوى والسفلى من جلبه الاسطوانة ، وثبت أن حادثة الإنهيار هذه ليس وبكل تأكيد موجود بهذه السفينة فقط .

كما وجد عيوب باللحامات التي بين كل من صمام حقن الوقود ، وصمام هواء بدء الحركة ، وصمام تصريف الضغط Relief Valve داخل رأس الإسطوانة بغرفة الإشتعال .

وهذه الشرخ بدأت عند صمام حقن الوقود وبسرعة امتدت رأسيًا ، ولقد تم تحديدها في منطقة الإشتعال وتم تغييرها بواسطة قطع الغيار الموجودة بالسفينة في عرض البحر ومع ذلك وصلت السفينة الميناء الأم بحوالي ثلث الإسطوانات خارجة من الخدمة . وكنت في هذه الأثناء موجود مع مندوب هيئة اللويدز في ميناء السويس وكانت المحركات صناعة رومانية ولقد تم إحضار صناع المحرك وأصحاب السفينة .

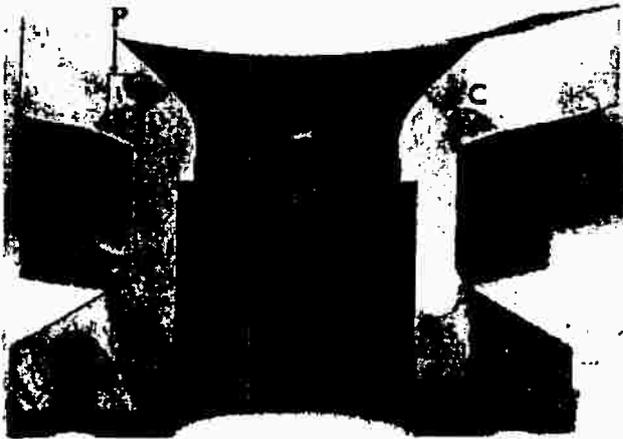
ويوضح شكل 20-15 قطاع لتجويف صمام حاقن الوقود وجزء من غرفة الإشتعال حيث أن الشرخ إخرق المعدن المصبوب للغرفة بالكامل وإمتداده رأسيًا من العلامة C إلى العلامة الأخرى C . ويبين شكل 21-15 وجود نمش في مقطع تجويف صمام حقن الوقود ويظهر في الصورة خشنونة ونمش في المعدن .

طريقة اللحام : بإرتفاع درجة الحرارة للطبقة العليا للأجزاء المنصهرة من اللحام يبين الشكل أن اللحام الخارجى ينقصه عمل منحنيات إتصال fillets ويوضح زيادة إنصهار الحافتين بين اللحامين عند النقطة C وربطهما مع بعض بطول 6 mm بدلا من 3 mm .

ولقد نشأ كسر نتيجة الكال في المنطقة الغير منصهرة بين اللحامين بجانب النمش . وبالإختبارات المجهرية لمقطع العينة عند النقطة P شكل 21-15 يبين ظهور شرخ يسير إلى الداخل حيث منطقة الإنصهار .



*Figure 15.20*



*Figure 15.21*

وفى شكل 22- 15 يوضح شرخ كبير وعميق نتيجة وجود شوائب ( خبث ) فى  
النهاية الطرفية للجانب الأيسر للصورة الفوتغرافية .

ويلاحظ شكل 23-15 فى أعلى المقطع سريان الشرخ إلى داخل المنطقة المنصهرة وتعتبر هذه النتائج بسبب تأثير تجمع الإجهادات عند النقر الحالية ، وفى الأصل كانت نتيجة عدم الإنصهار الجيد للمعدن ونظافته كما هو موضح فى شكل 23-15 .



Figure 15-22

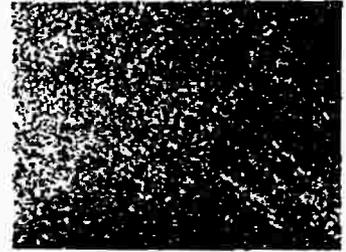
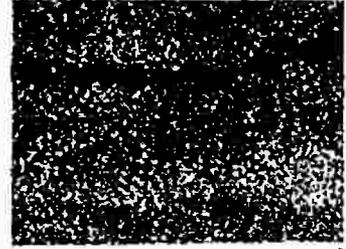


figure 15-23

#### 15.18-إنفعال المعادن نتيجة الصب Casting Strains .

يبين شكل 24-15 وجود شرخ خلال مقطع فى مكبس عام Exhaust piston لمحرك Doxford أحادى التأثير ثنائى الأشواط وقطر مكبس 350mm مصنوع من صلب الموليبدنيم المصبوب وذلك بسبب إنكماش شديد للمعدن لدرجة عدم تحمله بمياه مضغوطة بكيلوجرامات قليلة قبل حدوث تسرب المياه .

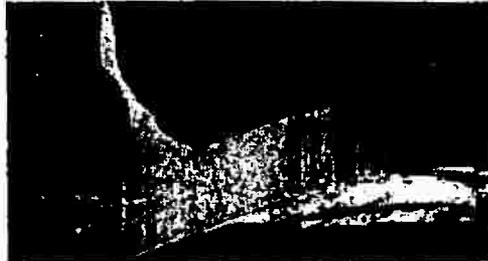


Figure 14.24

وفى شكل 25-15 يبين شرخ لمكبس مصنوع من الحديد الزهر ويعتبر هذا نوع آخر من الإنهيار، وكان وجوده ضرورى وعلى غير المألوف لحدوث إنفعال

داخلى عند عملية الصب ولذلك يكون من المتطلبات العادية للمكبس المصبوبة ان تمكث الشغلة المصبوبة فى الرمل 72 ساعة على الأقل .

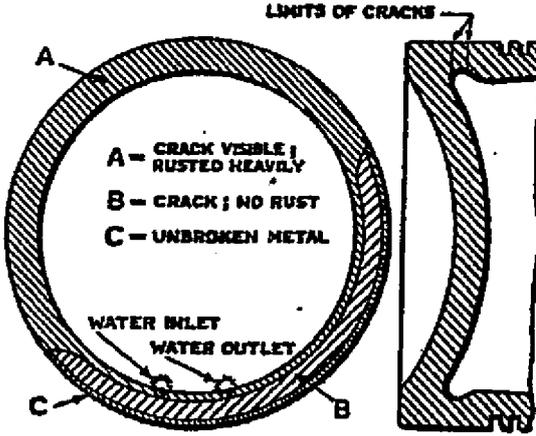


Figure 15-25

وعلى الرغم من أن بعض المصبوبات فى حفر خارجية ممكن رفعها بمجرد تما سكها وذلك للمحافظة على شكلها ، ومع إختبار المعادن ربما يظهر أشياء غير مألوفة وفى وقت قليل من الخدمة يمكن أن يحدث الإنهيار . أما فى شكل 15-26 يبين إنهيار لمكبس خاص لمحرك ثنائى التأثير عند النقطة A ويوضح ذلك بوجود قطعة مكسورة من المعدن فى وسط تاج المكبس مع ملاحظة عدم وجودها ، ومطابقة بدء الشرخ عند النقطة B مع إجهاد الزحف - الكلال - فى الداخل وتحت تاج المكبس ، وعمل طريق عبر مقطع المعدن مع التصدع النهائى لتاج المكبس ينتج عنه إنفعالاً كاملاً .

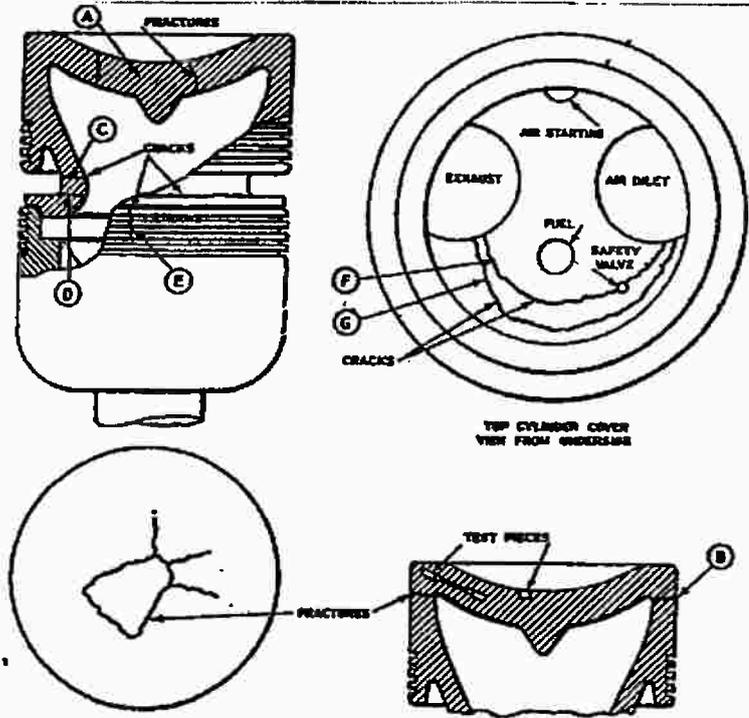


Figure 15-26

وعند النقطة C يوجد هناك شرخ محيطى لمسافة بوصات قليلة عند النقطة D وهذا الشرخ بسبب جهد كلال شبيهه بالحالة السابقة ويحيط بوسط المكبس مما يعمل على إنفصاله إلى نصفين وعلى غير العادة يوجد الشرخ الرأسى عند النقطة E ، ونوع الكسر عند النقطة A ممكن معالجته بمسامير كسدادة .

ويبدأ شرخ الزحف عند النقطة B على هيئة حزوز تكون متماثل ومتساوى فى السمك ويمكن التعرف على الحز قبل وصوله للحالة الخطيرة ، وبلا شك فإن المعدن تحت تاج المكبس يكون ذو مسامية وهذه المسامية تكون عامل أساسى لشروخات الزحف عند العلامة B وميله فى إنتاج مسامية سليمة ولا يتم هذا إلا بدخول الهواء البارد إلى قلب المعدن ، وتؤخذ العينة من المكان المشار إليه وتكون العينة من مكان سليم من تاج المكبس ويكون إتجاه الكسر محيطى وأسفل تاج المكبس كما هو مبين بالشكل مع احتمال أن يتم تحريكه عندما تكون درجة الحرارة لتاج المكبس أكثر من الازم عند توقف المحرك فى فترات المناورة .

وفي هذا الوقت يكون زيت التبريد داخل المكبس في حالة عدم حركة كما هو عليه في حالة التشغيل الطبيعي للمحركات .  
وعندما يبدأ الشرخ في أعلى المكبس أسفل رأس الإسطوانة كما هو مشار إليه عند العلامة f والعلامة G في الشكل 26- 15 عادة ما يفسر بأنه قصور - إنهييار - ومصدره معلوم وهو الوقود ، ويمكن التعرف عليه من خواصه كما أنه يظهر بواسطة التحاليل وذلك نتيجة الحرارة الشديدة وقت الحريق .

### 15.19- تأثير الخدمة على الأجزاء المتحركة .

#### Effects of service on moving parts :

يرى بعض المهتمين بصناعة السفن أن التشغيل لسنوات طويلة من المحتمل أن يؤثر على أعمدة المرفق المصنعة من قطعة واحدة أو المجموعة من قطعتين وكان هذا تفسيراً خاطئاً ، مثلاً تملك سفينة عدد إثنتين من الرفاصات تعمل على إدارتها إثنتين من المحركات وتم عمل صيانة كاملة للمحركات بعد 9 سنوات مع خدمة شاقة وسير بطيء وحين وجد أن القدرة أقل من اللازم وجد أن أحد الرفاصات الموجود بجانب الرصيف عليه قليل من الحشيف وبإختصار وبعد تجربة سير موجزة تراكت السفينة على الرصيف وتم حل معظم أغطية الكراسي الثابتة وفي النصف الخلفي لعمود المرفق تم أخذ خلوص الكراسي الثابتة بالقلر وكذلك مراجعة المسافة بين إسطح أفخاذ عمود المرفق وكذلك المسافة الجانبية للكراسي الرئيسية للمحيط الكلى وجد أن المسافة ثابتة وكانت حوالي 6 % من عرض الفخذة ، وكان عمود المرفق من النوع المجمع ، ولاحظ المفتش الهندسى تأثير صدمة وبعد عمل إختبار لمنطقة الصدمة وجد أن القلر يلقى صعوبة فى الدخول للحيز بين الفخذة والسطح الجانبى للكرسى ، وللعلم أن أى عمود مرفق بنفس العمر والإستخدام سوف يكون له نفس الخصائص ، ويوجد شك ضعيف أن عمود المرفق سوف يستمر إلى نهاية الخدمة .

وفي محرك رباعى الأشواط أحادى التأثير ذو ثمانى إسطوانات و بقطر مكبس 740 mm ومن خلال الكشف بعد 22 سنة من الخدمة أظهر الكشف أن كل أعمدة التوصيل يوجد بها شروخ فى الوجه الأسفل عند رأس مسمار الرباط شكل 27- 15 والصورة لمقطع فى عمود التوصيل ، ولوحظ أن السبب عدم وجود تشكيل منحنى fillet مع وجود زاوية حادة فى التجويف عند بداية الشرخ .

والشكل رقم 28- 15 يبين الأوجه المنفصلة بواسطة الشرخ ويكون السطح A مطبق بواسطة رأس مسمار الرباط تطبيقاً أفقيًا والوجه B يتكون من حائطاً رأسيًا

حاذًا ومجوفًا، والوجهين C ، C شكل 28-15 للسطحين المنفصلين نتيجة الشرخ.

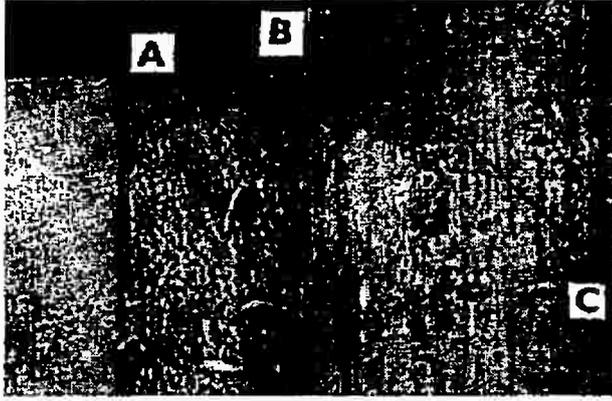


Figure 15-27

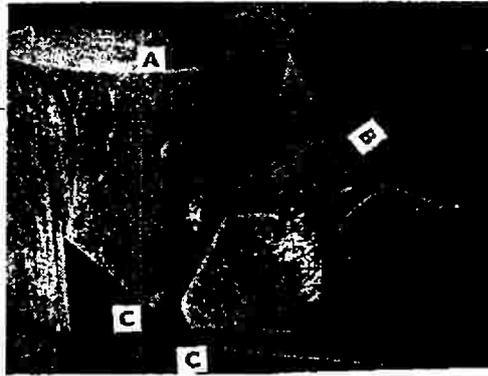


Figure 15-28

### 15.20- إجهاد الكلال والتآكل الكيماي Corrosion Fatigue .

غالبًا ما ترتبط مشكلة إجهاد الكلال بنتيجة التآكل الكيماي عندما تحدث حركة صغيرة جدًا بين كتلتين من الصلب تحت ضغط كبير بين السطحين ويكون هذا تآكل بالإحتكاك سببه الحركة الميكانيكية مما يسبب تمزق في الأسطح ، وهذه

الأجزاء الدقيقة الناتجة من الإحتكاك تسبب الصدا مع وجود درجة حرارة متولدة من الإحتكاك فى هذا المكان وتتكون نتوات نتيجة التآكل وتتنقير صغير على أوجه الإسطح .

وتكون نتانج التآكل بالإحتكاك هو تقليل مقاومة المعدن لإجهاد الكلل ، وكذلك ملاحظة أن يتواجد تآكل بالتنقير على أسطح أسنان القلاووظ وتآثير حروز التنقير هذه تعمل على زيادة جهد الكلل .

مثال آخر مسامير الرباط التى تكون مربوطة رباطاً جيداً للتأكد من أن حمل الإحتكاك كبيراً بما فيه الكفاية ويتقلص فى إتجاه سطح الصامولة مع وجود تمدد متكرر بشرط أن يكون تحت حمل نابض مع حدوث حركة صغيرة جداً نسبياً . وبالخبرة وجد أن التآكل ربما يقلل من حد الكلل للصلب بعكس جهد الإنحناء تصل نسبة % 50 وحدث التآكل أحياناً يكون أقل ما يمكن بواسطة عامل كبريتيدات الموليبدنيوم ، وأحياناً فى حالة الزحف يكون الكسر عند السطح وهذا ليس دائماً فى توصيف الجزء المصبوب ويكون التصدع نتيجة الكلل الطبيعى ولذلك فإنه يحدث داخل الجزء المصبوب للطوق اللامركزى المذكور فى شكل 15-15 والشرخ يبدأ داخل الصب عند نقطة بها إجهادات داخلية متبقية .

## 15.21 - الكسر نتيجة إجهاد التآكل الكيمائى .

### Stress – Corrosion Cracking .

لا يوجد جزء يعمل فى محركات الديزل تحت ظروف صعبة كما هو فى جلبة الإسطوانة لمحرك الديزل ثنائى التأثير والمركب عليه شاحن جبرى ويبين شكل 29 - 15 تصميم لفلانجات مشتركة مع الشاحن الجبرى مصنوعة من الحديد لمحرك ديزل ثنائى التأثير بينما الشرط الرئيسى لشركات الملاحة البحرية التى تملك الخبرة الكبيرة لمحركات الديزل البحرية توضح فى النقاط التالية .

a- يكون موقع الفلانجة فى حيز التبريد .

b- مسامير القلاووظ مصنوعة من نوع مناسب من سبائك صلب الكروم والموليبد نيم .

c- الحلقة الداخلية وأيضاً الحلقة الخارجية مصممة لتحتمل الحمل الموجود حسب تعليمات الصناع .

1- أما صانعى المحرك عندهم من الخبرة خمسة عشر عامًا بنجاح مألوف مع فلنجات محركات الديزل ثنائية التأثير والمغمورة فى حيز مياه التبريد ولا إعتراض على نظام هذا النمط .

2- ومن الناحية العملية كانت تستخدم مسامير قلاووظ مصنوعة من الصلب الإستانلس إستيل *Stainless Steel* وكان الصلب مشروط عليه من ملاك السفينة أن يكون على الجودة وغالباً الثمن ولهذا السبب كانت الفلنجة مهمة.

3 - وعموماً من الناحية العملية فإن الحمل الكامل يؤخذ بعناية بواسطة دعم الفلنجة الداخلية فقط ، والفلنجة الخارجية بها خلوص يساوى 0.001 من البوصة ، ويطلب الملاك أن تشارك الفلنجة الخارجية في الحمل وكان مطلب غريب ، وبالعكس ذلك كان رأى المهندسين الذين يملكون من العلم والخبرة الكبيرة .

وبناءً عليه كان من المحتم أن يتغلب الرأى الثانى .

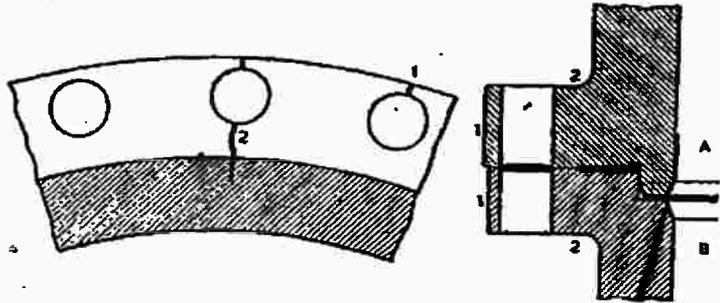


figure 15 .251

وأيضاً كان التصميم مقبول من ملاك بعض السفن الآخرين عند نقط محددة زمنياً وعلى الرغم عندما يكون هناك منات من الفلانجات فى الخدمة تكثر المشاكل الكبيرة وتصبح شائعة وتتعاقب بسرعة ، والحزوز والعلامات فى الفلانجات تصبح خطيرة مع تسريب وصلات مواسير غاز العادم .

ولهذا تسبب المشاكل الجوهرية لعرفة الإحتراق .  
ومع تجليخ الفلانجات وإستمرار السفن فى التشغيل وعند الفحص وجد أن كثيراً من الفلانجات مكسورة وظهرت الشقوق وكثيراً من الشدوخ العرضية فى اتجاه أسطح الإحتكاك .

وبلا شك فإن العطب يكون بسبب إجهاد التآكل ويكون الكسر بسبب إجهاد الكلال .  
الكسر الناتج عن إجهاد التآكل الكيمياء فى نتيجة الصدا من النوع التدريجى ويبدأ من شرخ بسيط وينتهى بعد ذلك تعلمدياً عبر مساحة المقطع نتيجة جهد الشد وتكون النتيجة كسر هش .

ومن نتائج أحد كسور إجهاد التآكل الكيميائي ليس من الضروري أن تقع مسامير الرباط تحت إجهاد شد ، وعلى العكس كثيرًا من المسامير التي تتكسر تحت إجهاد التآكل بالصدأ أكثر مرة ونصف من التي تقع تحت إجهاد الحمل وسوف يكون التآكل بالصدأ للمعدن أزيد بكثير في السرعة عن إجهاد المعدن وتأكله بفعل الطبيعة .

ومع ذلك يوجد بعض المسامير بها شروخ عرضية .

ومن الشواهد لا يوجد تسرب لغاز العادم عند أسطح الفلانجات التي يتبعها مشكلة في مسامير الرباط .

وفي شكل 15-29 يوضح عدد من الشقوق في أماكن الرباط عند الرقم 1 وليس من الأهمية في ذلك وحتى ابتداء بعض الشروخات في الإتجاه الآخر من تقب مسامير الرباط الموضح عند رقم 2 ويبرهن هذا على أنه يوجد شروخ نتيجة لإجهادات في تقب المسمار نتيجة التآكل الكيميائي ، وتآكل أسطح التبريد ليست نتيجة لإجهادات الرباط .

وعند حل الإسطوانة للكشف على التسريب كان واضحًا أن الحلقة الخارجية وقع عليها حمل في عدد من الأماكن وكذلك الحلقة الداخلية ولوحظ أن هناك فاصل بين الأسطح وفي الحال فسر هذا لوجود شروخ نتيجة التآكل الكيميائي في تقب مسمار الرباط ، وعلامات شروخ في مسمار الرباط وحة مونة موضعية داخلية للإسطوانة عند A ومثله في غرفة الإحتراق عند B .

ولقد تم حل مشكلة الإسطوانة بتغييرها في الحال ، ولقد تم عمل الإختبارات على جلب الإسطوانات عن طريق فريق من خبراء الميتالورجيا للمحركات التي تعمل في البحار ، ووجد أن مسامير الرباط التالفة أدت إلى التسريب عند الجوانات . وأخيرًا كان تسريب الجوانات واضحًا وكان هو السبب الأول وتابعه كسر مسامير الرباط ، ومن ثم تم إعادة تصميم الجوانات الخاصة بالإسطوانات .

## 15.22- تركيز الإجهاد عند منحنى الإتصال Stress Concentration Fillets

يوضح شكل 15-30 ، 15-31 تأثير إجهاد الكلال على نصف قطر منحنى الإتصال fillet وعلى مسامير رباط فالانجة الإتصال لربط المقطع الأوسط لجلبة إسطوانة قطرها 750mm حيث أن مسامير رباط الفلانجات لم تكن متقاربة ، والفلانجات لها قطر منحنى إتصال كبير وموضع رؤوس مسامير الرباط عبارة عن سطح مجوف ويكون إجهاد الكلال الرئيسي لنفس الفلانجة التي تملك أنصاف أقطار صغيرة لمنحنى الإتصال .

وفى الصورة إختيار لنموذجين ومقارنة الإجهاد للفلائجات المربوطة مع بعضها .

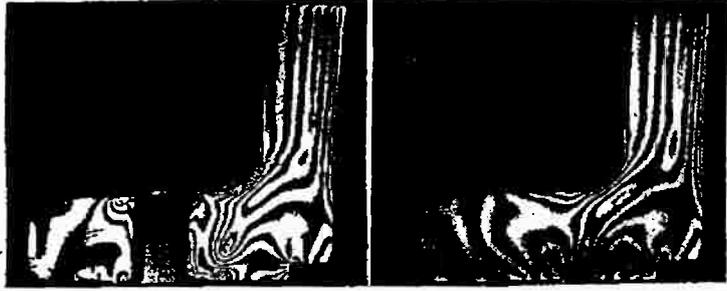


Figure 15-30

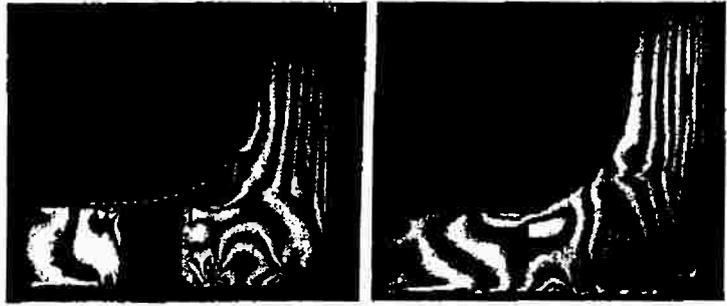


Figure 15 - 31

والإجهادات الحرارية للشغل هى نفسها الإجهادات المماثلة لعزم الإنحناء على مقطع مسامير الرباط ، وكان النموذج تحت إجهاد قوى وأجزاء مقطعية بينية من خلال تقوب المسامير .

وفى شكل 15-30 كان قطر منحنى الإتصال 18mm وفى شكل 15-31 كان قطر منحنى الإتصال 45mm مع تجويف لأسطح رؤوس المسامير ، وكانت الإجهادات المختلفة الموجودة فى النماذج مشهورة فى وقتها .

### 15.23- الإختبارات الهدامة البسيطة Simple Destructive tests .

عند حدوث إنهيار أجزاء مركبة لمحرك فى حالة دورانه بالفحص وجد أنه بسبب إجهاد الثنى وبمحاكاة واقعية على عينات إختبار وجد أنه من الممكن أن يكون قليل الحدوث وبوضع الحمل المناسب على العينات المشابهة لما حدث بالأجزاء المركبة لمعرفة سبب الإنهيار ، وربما يكون هذا الإجراء نافعا إذا ما كان التفسير والإستنتاج سليم لسلسلة محركات الدفع .

حدث إنهيار فى بناء رئيسى من الحديد الزهر وبناءً عليه يكون مواجهة المشكلة معقدة ومحيرة .

ويتصنع نموذج كامل واحد على عشرة من الحجم الكلى وكان مكلف جدًا ؛ وزيادة على ذلك ، قد يكون تصرف لا نفع منه بسبب إختبار الإنهيار الإستاتى – الساكن – والذى لا يحاكى من قريب أو بعيد قوى الحركة عند شغل المحرك وفى النهاية كان من المقرر عمل عدة إختبارات ضغط متكرر لألواح صغيرة متوالية . وبين شكل 15-32 , 15-33 قليل من النتائج العشوائية ومن العجب أن

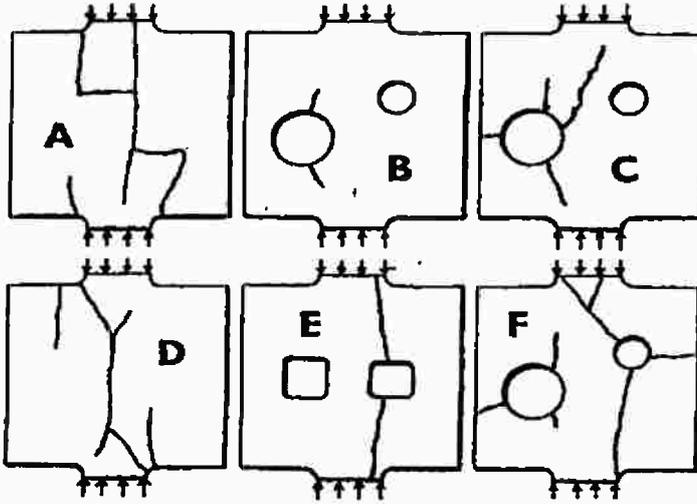


Figure  
15-32

بعضها صحيح والإستنتاج من الممكن أن يكون مناسباً وأدى إلى نتائج سليمة وأشكال الإنهيار للألواح لم تكن متوقعة من قبل .

وشكل 15.32 A , B , C يبين الألواح وكانت بطول 65mm وإرتفاع 60mm وسمك 11mm ، وجميع الألواح مجهزة بالأبعاد المذكورة وكانت من الحديد الزهر المتجانس القوى ، وكانت الألواح معدة مسبقاً لزيادة الحمل التدريجى ويظهر التطبيق العملى على أسطح الألواح بالأسهم ، وسطح اللوح المكسور عند A عند وصول الحمل عليه إلى 14.73 طن واللوح B يبين الكسر عند الثقب الكبير عند وصول الحمل إلى 9.65 طن وفى العينة C تظهر الشروخ عند الحمل 10.7 طن وينكسر كاملاً عند الحمل 11.5 طن .

وإختيار العينات D , E , F تكون بسمك 9.5 mm من حديد الزهر ذو هشاشية متوسطة تم كسر اللوح D عند حمل 13.5 طن ، واللوح E عند حمل 8.2 طن ، واللوح F عند حمل 8.3 طن .

والعينات H, k شكل 15- 33 كانت بارتفاع 150mm وعرض 65mm وسمك 5.7mm وكانت النتيجة إجتداب اللوح H عند حمل 5.8 طن وظهور شروخ في اللوح k من خلال الثقوب عند حمل 4.3 طن ، واللوح G كان بطول 65mm وارتفاع 60mm وسمك 11mm وتم ظهور شروخات اللوح عند حمل 39 طن وكسره عند حمل 43 طن .

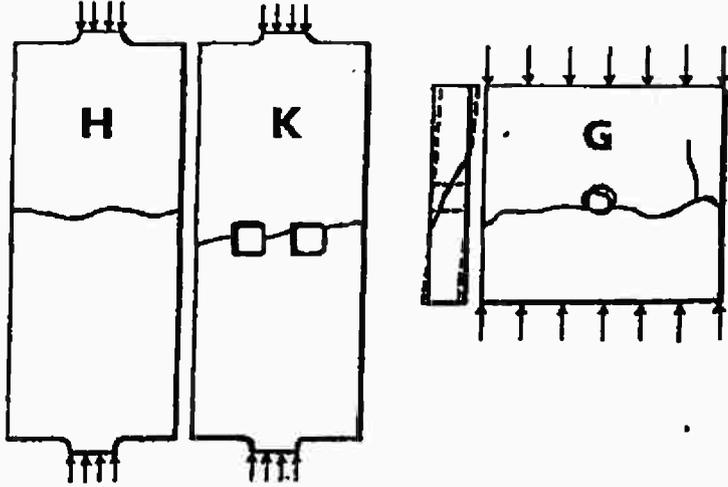


Figure 15-33