الباب الخامس عشر
الكسور نتيجة إجهاد الكلل Creeping Cracks

15- نبذة عن خواص المعادن .

15.1- الخواص الفيزيائية .

يقصد بالخواص الفيزيائية جميع الصفات التى 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 التى 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 التى تمليها الظروف الصناعية المختلفة ولذلك وجب 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 تدريجيًا 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 بإنتظام بتأثير الإجهادات وعودته إلى شكله الأصلى بزوال تلك الإجهادات .

15.2.6- اللدونة plasticity هى قابلية المعدن للتشكيل بتأثير الإجهادات تشكيلا دائما دون الرجوع إلى شكله الأصلى 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- القصافة Brittleness الهشاشية أو قابلية المعدن للكسر عند تعرض المعدن للإجهادات بدون إنفعال .

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

15.2.11-الليونة Softness سهولة تغيير الشكل بالإنحناء 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- الجساءة والرساخة والكرازة 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 .

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

15.2.18- التحمل 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 والإنحناء والصلادة .

15.3a1إختبار الشد .

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

وفى هذا الإختبار تشكل 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 .

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

وبواسطة آلة الشد يقاس الإنفعال الظاهر فى العينة نتيجة الجهد المطبق على طول االعينة المعين مقاس L_0 والإنفعال يكون بالنسبة المنوية للتغيير فى الطول الأصلى

الإنفعال = $\frac{\Delta L}{L_o}$ x 100 .

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

أما الضغط ، القص ، والإنحناء 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 – وبالتالى تزداد مقاومة المعدن لإجهاد الضغط باضطراد وهذه الزيادة تستمر إلى مالا 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 الإنحناء .

ما تقدم يعتبر مدخل لدراسة إجهاد الكلل –التعب –

Fatigue or Creeping Cracks .

15.4- ألكسورنتيجة إجهاد الزحف (التعب) Creeping Cracks.

يعرف الزحف (التعب أو الكلل) أنه إنفعال لدن بطئ 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 بإرتفاع 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 .

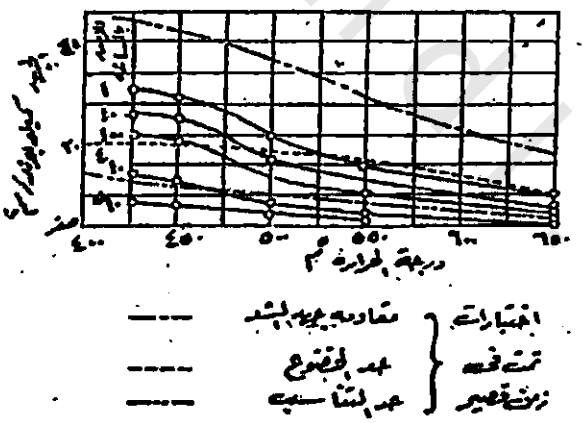


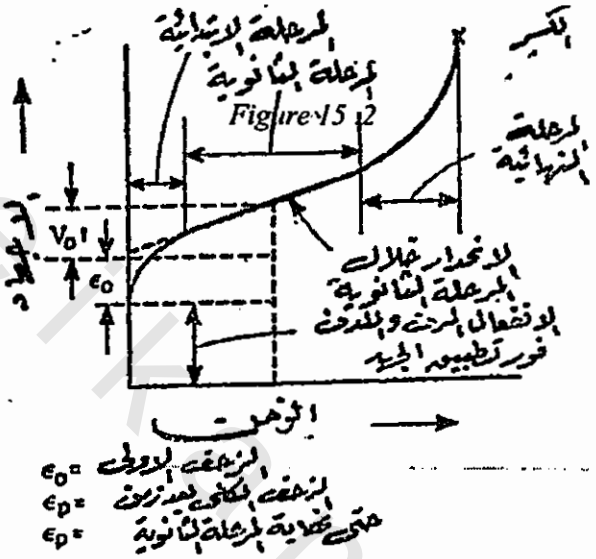
Figure 15.1

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 كثيرًا عن منحنيات الزحف

المناظرة لمعظم المعادن ومن تحليل المنحنى المذكور نجد أنه يتركب من ثلاث مراحل رئيسية .

- المرحله الاولى .



المرحله الاولى .

بمجرد إجهاد العينة يبدأ الزحف بإجهاد واضح بمعدل مرتفع (إنفعال مرن أو لدن أو كليهما حسب ظروف التحميل) ثم يهبط معدل الزحف تدريجيًا وتسمى هذه المرحلة بمرحلة الزحف الأولى primary creep .

الحالة الثانية .

بمجرد إنتهاء الحالة الأولى يصل معدل الزحف إلى أبطأ معدلاته ويظل هذا المعدل ثابتاً (الزحف بالنسبة للزمن علاقة نسبية) وتسمى هذه المرحلة بالزحف الثانوى secondry creep .

المرحلة الثالثة والأخيرة .

يعود معها معدل الزحف إلى التزايد بالإنفعال الواضح فى صورة إستطالة العينة ونقص واضح فى مساحة المقطع ينتج عنه زيادة فى الجهد بالرغم من ثبوت الحمل وبالتالى زيادة معدل الزحف .

ولو تغير الحمل فى هذه المرحلة ليبقى الجهد ثابتاً (لنقص مساحة المقطع) فإن معدل الزحف يظل ثابتاً كما هو فى 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 إرتفاع درجة حرارة إنصهار المعدن أو السبيكة يوحى بتحسن الخواص الميكانيكية عند درجات الحرارة العالية ولكن ذلك لا يعتبر مقياسًا مطلقاً لخواص الزحف فقد تختلف خواص الزحف لسبيكتين متشابهتين فى التركيب الكيمائى لعدة عوامل أخرى أهمها حجم الحبيبات Grain size .

حجم الحبيبات Grain size .

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

التصلد بالتشكيل Strain hardening .

تتاثر 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 وفى الحقيقة يجرى سباق بين عاملين متناقضين درجة التصلد بالتشكيل وإعادة تبلور المعدن بارتفاع درجة الحرارة الذى يصاحبها ليين فى المعدن وبالتالى إنخفاض فى مقاومة الزحف وهذا الأثر يبدو واضحًا فى تحول المحل الهندسى لنقطة النهاية العظمى للمنحنيات نحو درجة تشكيل أقل بإرتفاع درجة الحرارة .

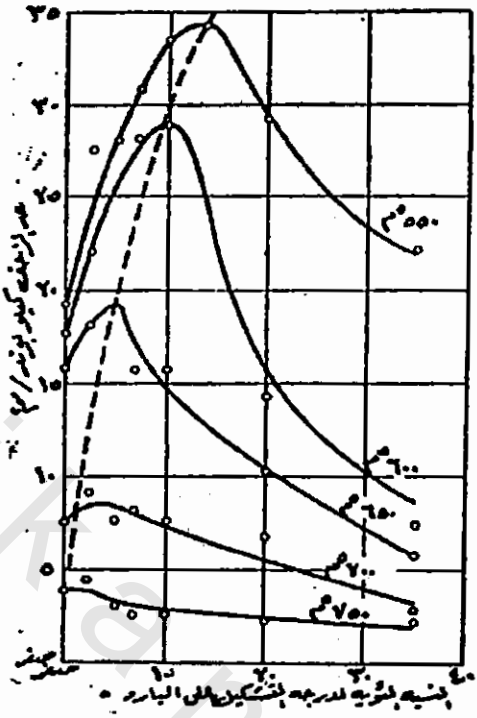


Figure 15 .3

ومن المعروف أن التشكيل على البارد ينتج حبيبات دقيقة وأما الحبيبات الناتجة من إعادة التبلورفإنها تتوقف على درجة التشكيل على البارد وقد تفوق أو تقل فى أحجامها عن تلك الأحجام التى كانت عليها قبل إعادة التشكيل على البارد وبجانب ذلك قد تتبع إعادة التبلور نمو الحبيبات وتغليظها إذا كانت درجة الحرارة عند الزحف مرتفعة بالقدر الكافى لتحقيق ذلك وبالتالى تتأثر خواص الزحف تبعا لذلك.

15.7- المعاملات الحرارية .

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

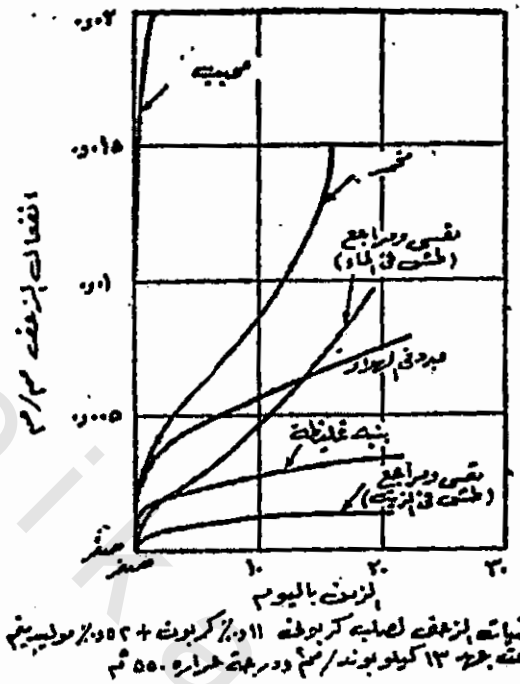


Figure 15-4

15-8- إختبارات الاسترخاء Relaxation tests.

هذه الإختبارات تهتم بخاصية بقاء الجزء الموجود تحت الإنفعال (إستطالة لدنة) ثابتة بعد إجهاده بدرجات الحرارة المرتفعة ففى بعض الأحيان يحتاج الأمر كما هو فى المراجل وأجزاء التربينات إحكام ربطها بمسامير رباط (برشام أو فلاووظ) إحكاما يكفى لمنع التسرب تحت ظروف الضغط ودرجة الحرارة العالية للتشغيل وفى بعض الأحوال يلجأ إلى إجراء البرشمة على الساخن ليتم الإحكام حينما تنخفض درجة الحرارة وبالتالى يرتفع جهد الربط التى تعانى منه المسامير فى حدود المرنة ولكن بإرتفاع درجة الحرارة تنفعل المسامير بالتمدد جزئيا بإنفعال لدن فيقل جهد الربط (إسترخاء) ولكنه فى نفس الوقت يميل إلى التوزيع المنتظم بين المسامير المشتركة فى عملية الرباط وبانخفاض جهد الربط تقل تبعًا لذلك درجة الإحكام ، ولإختيار المعدن المناسب لهذه المسامير لتعطى جهد ربط معين لزمن معين ويجب عمل إختبارخواص إسترخاء للمعدن وتجرى هذه الإختبارات لإيجاد العلاقة بين الجهد عند درجة حرارة معينة والزمن للحصول على إنفعال معين ثابت (وفى المعتاد تمثل هذه العلاقة بيانيًا 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 التصلد 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 بحته بل إن من العسير أن يقتصر تطبيق الإجهادات الإستاتيكية منها فإن معظم هذه الأجزاء ستتعرض 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 اللآلآت ويطلق على التغيير فى الإجهاد بالإجهاد الديناميكى وإستمرار الإجهاد الديناميكى 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 الكسرمن النوع الهش ، ونظرًا لإختفاء آثار التشكيل اللدن قبل الكسر فإن الكسريقع بصورة فجائية دون إنذار أو مدلول سابق له ويطلق على الكسر أو الإنهيار بتأثير الإجهادات الديناميكية بالتعب أو الكلل .

15.10- ظهور شروخ إجهاد الزحف Appearance of creeping cracks .

كسور الزحف لها رؤية مميزة مبنية على ثلاثة دلالآت متوالية تبدأ عند نقطة الإجهاد المركزة وتكون البداية بشرخ صغيرجدًا وهذه هى (الدلآلة الأولى) وتمتد الفواصل بين الوجهين ببطئ ويكون مظهر الأسطح فى هذه المرحلة ملساء 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 المائلين تميل إلى أن تصبح أقل نعومة .

ومن المحتمل أن توجد فى نهاية منطقة الشرخ وجود سطح خشن وحاد الزوايا وهذه هى الدلآلة الثانية وعندما يتشعب الشرخ إلى الداخل لمسافات كبيرة تكون المساحة المتبقية غير قادرة على مقاومة الأحمال المتكررة ويحدث الكسر فجأه .

ويكون مقطع الكسر واضح مع رؤية بلورات لامعة ، وخلفيات معتمة ، وسطح أملس فى 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 نسبيًا عبر مساحة المقطع

15.11- أمثلة لكسور الزحف Examples of creep cracks

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

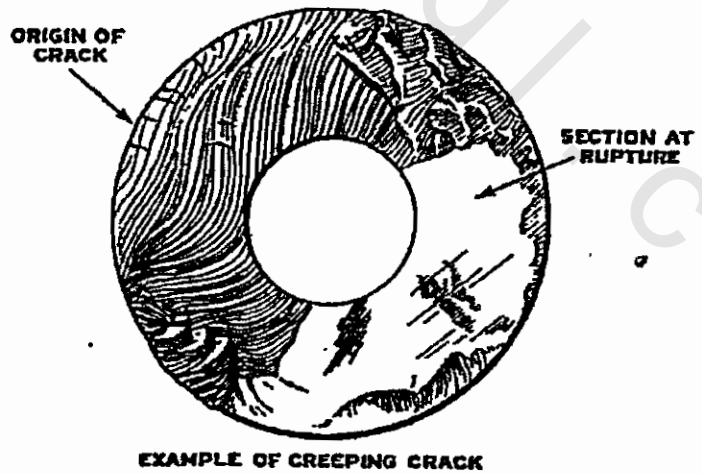


Figure 15 -5

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

Figure15 .6 fatigue , or creeping crack failure

ومع تطور كسور الزحف نتيجة الإجهادات التى تكون بنفس الشيئ ، وفى هذه الحالة تتبع إجهادات الكسر طريق مخروطى يزيد أو ينقص .

ويكون أملس فى بداية مراحله 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 10-15إنهيار المعدن بسبب جهد التعب (الكلل) fatigue stress لتجويف بنز المكبس ويلاحظ أن النهاية اللامعة ولا يوجد بها شرخ .

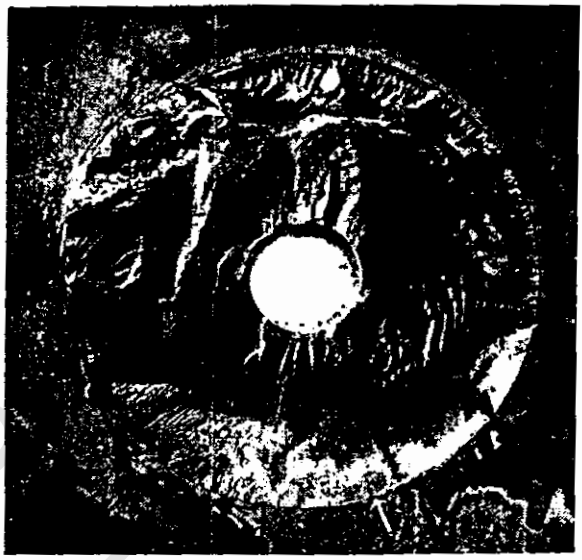


Figure 15 . 7 creeping crack by bending

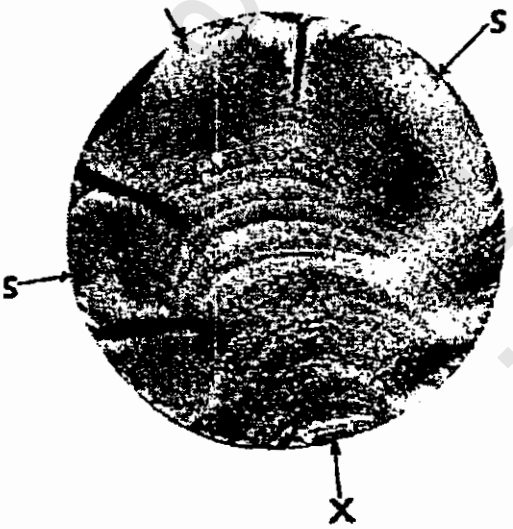


Figure 15 . 8 Exhaust valve spindle

Figure 15- 9 torsional creeping crack

وفى شكل 11-15 يوضح الشكل لكسر مسمار تجميع وفى هذه الحالة يبدأ الشرخ من عيب تحت القشرة ويزحف عبر المقطع حتى التمزق وغالبًا ما يحدث كسر قطرى عكس نقطة البداية .

ويوضح شكل 12-15 مقطع كبير لسن قلاووظ موضوع تحت حمل متكرر قوى ويلاحظ إنهيارمن القلاووظ وبدء كسرالزحف عند النقطه x ويلاحظ أن الأسطح ملساء حتى النقطة y .

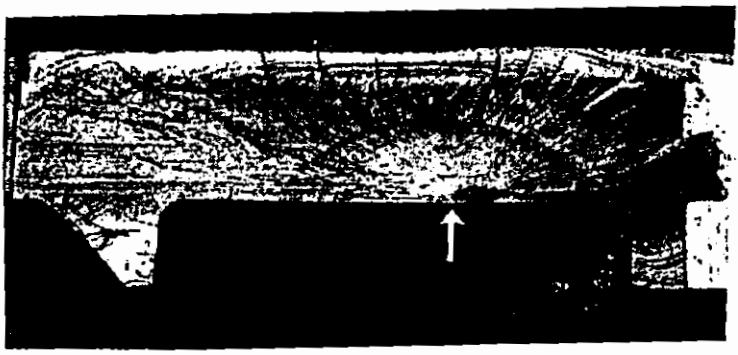


Figure 15-10 creeping crack in hollow gudgeon pin

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

Figure 15.11

وتحدث إستطالة فى بعض الأحيان عند تجميع أجزاء المحركات رباعية الأشواط بواسطة أعمدة الربط مع تكرار الحل والربط يحدث لها إستطالة وتنهار بدون تأثرها بجهد الزحف وربما يتشابه بالجزء العلوى من الشكل7- 15.

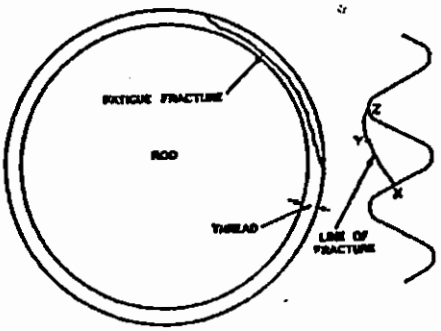


Figure 15-12

ويوضح شكل 13-15 كسر فى الجزء العلوى لدليل مصنوع من سبائك الصلب لبنز عمود

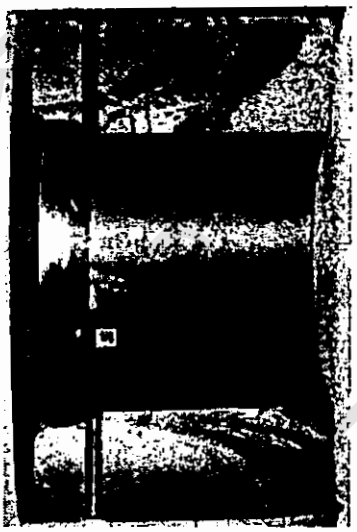
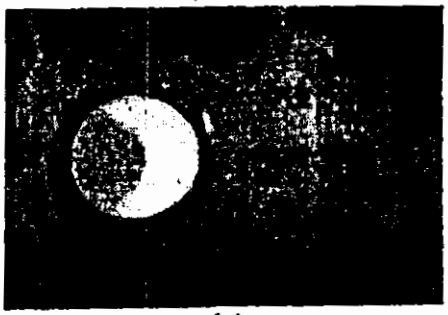


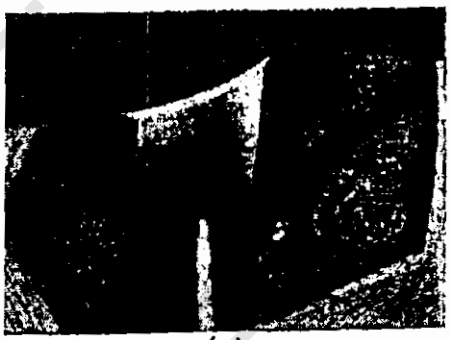
Figure 15-13

محورى لنوع محرك على حرف V ويوجد هناك شرخين طوليين محددين نتيجة إجهاد الكلل وبدايتهما من النهاية الطرفية المعاكسة لثقب زيت التزييت 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 ثقب الزيت على شكل منحنى إتصال fillet وتسلك ثقوب الزيت طرق متغيرة ووعرة وفى هذه المناطق يكون تأثير الإجهاد قوى ومركز ، والعلامة m صورة مكبرة لثقب الزيت فى شكل 13-15 والموضحة فى شكل 14a- 15 ويوجد شروخ قصيرة

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



(a)



(b)

Figure 15.14 a,b

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

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

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

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

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

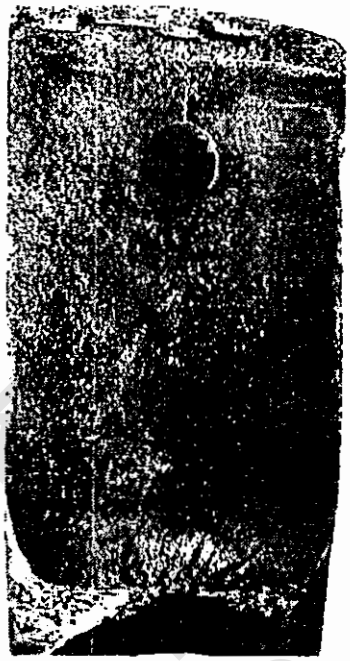


Figure 15-15

وتبن 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 الأقص 46 كيلوجرام قوة / مم المربع و

% 31 إستطالة أى حوإلى 75 مم ، ونقص فى المساحة بحوالى % 75 ، غند ثنى قطعة بطول 25 مم وعرض 19 مم إلى 180 درجة وكان نصف قطر الإنحناء 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 الأصلى . وكثيرًا من الأطواق اللامركزية المصبوبة من الصلب والتى تنهار بسبب جهد الكلل والتى 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 طرقى مع فحص حيز صندوق المرفق قبل الإبحار وحدوث 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 ، وتشيركسور الكلل الطبيعية عند صب الطوق بعيوب فى الصب .

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

	First point	*Second point*
Yield point . ton / in^2	18.8	19.2
Yield point . kgf / mm^2	19.6	30.3
Ultimate stress ton f / in^2	30.6	31.6
Ultimate stress kgf / mm^2	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 الكسرباجهاد الكلل .

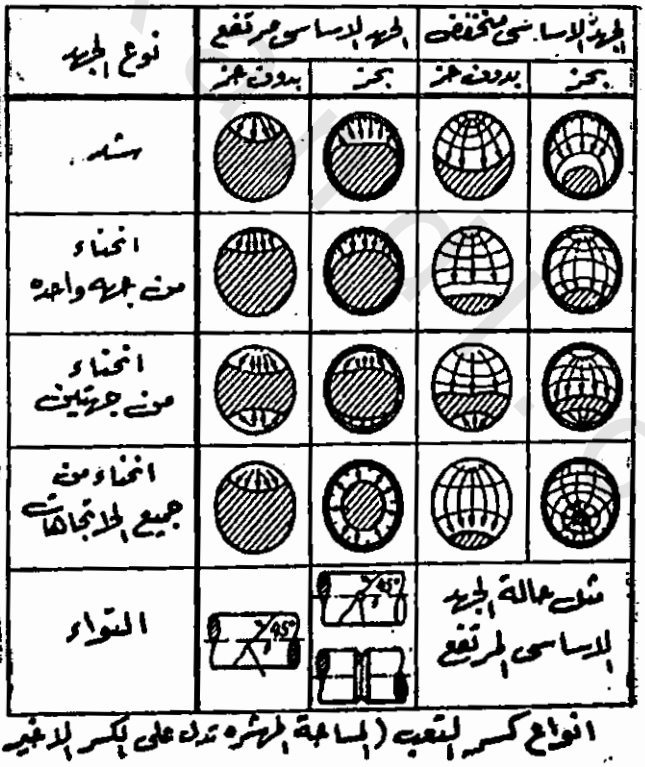
يبدأ الكسر فى هذه الحالة من شرخ دقيق من الممكن أن يكون فى المعدن من قبل أو قد يولد نتيجة تركيز حاد فى الإجهادات وبمجرد تواجد هذا الشرخ الدقيق والتى تتميز أطرافه بتركيز الإجهادات فى وجود (تأثير الحز notch effect) فإن سريانه وتقدمه داخل المعدن يعتبر أمرًا حتميًا بتكرار إجهاد الكلل حتى إذا ما إستمرالحمل ثابتاً وذلك فإن الجهد سيرتفع لقلة 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 تتحمله مساحة مقطعه مع مقاومة الجهد المطبق فيحدث الكسر فجأة ويتطبع الكسر فى الجزء الأخير بطبيعة الكسر الهش لأنه لا يقع تحت تأثير لدن سابق ويظهرعلى شكل حبيبى (بللورى) ومن هذا يمكن الإستدلال على الكسر بإنه نتيجة لإجهاد الكلل 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 كثيرمن الأحيان تبدوعلى شكل أقواس فى المنطقة الأولى للكسر ممتدة إلى المركز (مركزها يشيرإلى منطقة منبع الشرخ الأول) وفى بعض الأحيان يصعب التعرف على المناطق المذكورة وبالتالى عدم التعرف على الكسر بإجهاد الكلل .

وفى المعادن أوالسبائك 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 هى الصفة البارزة فى مثل هذه الحالات .

وإتجاه مستوى مقطع الكسر فى إجهاد الكلل يتوقف فى المقام الأول على نوع الإجهاد فإجهاد الشد والضغط والإنحناء ينتج عنها كسرًا عموديًا على إتجاه الجهد (محور الجزء) بينما يكون مستوى الكسر مائلا بزاوية تبلغ نحو 45 درجة على الإتجاه المذكور فى 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 16- 15 يوضح رسما تخطيطيا لطبيعة الكسر بالكلل حسب طبيعة الإجهادات المتكررة الواضحة ، وشكل 17- 15 يعطى مثالا لمقطع الكسر بالكلل فى المحور .



أنواع كسر التعب (السلاحة المرشرة تدل على كسر الدغيد)

Figure 15-16

Figure 15 - 17

15.14- ألتعب إوالكلل للمعادن Fatigue of metals .

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

وإذا تم إعطاء المعدن فترة إستجمام لعدة أيام بدون إنفعال عند النقطة C´ أى عند الإجهاد صفر فإنه يشفى بعض الشئ وينتج عن ذلك إرتفاع نقطة الإستسلام إلى النقطه D .

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

Figure 15-18 a,b

تماثل دورة إجهاد الضغط على طول خط LOM ونحصل على التعويق فى حدود MPNLTUM .

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

ويلاحظ أن مرحلة التعويق موجودة فى كل المعادن ولكن مساحة حلقاتها تختلف من معدن لآخر، وتكبر بازدياد طراوة المعدن وتقل بعدم قابلية المعدن للإنفعال والإجهادات المتكررة فى دورات متعاقبة وفى المثال المعطى لا تقتصر على حالة الشد والضغط (الإجهادات العمودية) بل تشمل كل الإجهادات بكامل أنوعها مثل القص sheer ، الإلتواء twest ، 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 فى هذه الدراسة .

أولا : الجهد الديناميكى اللازم لنهج الكسربعد تكراره لعدد من المرات يسمى بجهد التعب أو الكلل fatigue strength .

ثانيا : أقصى جهد يمكن تطبيقه بتكراره عدد لا نهائى من الدورات دون الوصول إلى الكسر ويطلق على هذا الجهد حد الجلد أوالصمود أو الإحتمال Endurance limit والذى يمكن عنده المعدن من الصمود أمام الجهد إلى مالآ 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 وفى نفس الوقت ينشأ فى الجهة الخلفية للدعامة شرخ يبدأ من النقطة 1 والمبين بالخط المنقوط ويزحف إلى النقطة 2 ، 3والنقطة 4 وفى الجانب الأيسرمن محور عمود المرفق يماثله شرخ يظهرعند النقطة X ويستمر خلال النقطة Y إلى Z وأنواع هذه الشروخ تنمو فى أقل من عام .

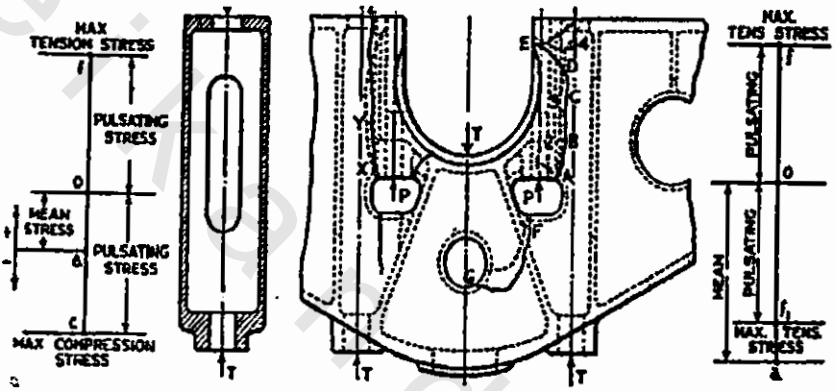


Figure 15-19

وبلا شك فإن تجميع بداية الشروخ تبدأ من النقطة A وفى كل وقت يصل فيه المكبس إلى النقطة الميتة العليا نهاية شوط العادم وينتقل جهد الشد من خلال مسامير ربط الكرسى الرئيسى إلى فرش المحرك وفى 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 جانبى عمود المرفق Crank shaft يمكن تثبت بها مسامير جاويط للرباط تكون أقل ضررًا وبالتالى يمكن الإستغناء عن عمل تجويف فى الدعامة وعدم تعرضها للإنبعاج .

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

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

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

ويجب أن يكون حدود الإجهاد مناسبة عند الصب ومن المدهش أن تكون فكرة التجاويف الموجودة بالدعامة شائعة عند الصب ويكون جزء آخر مصاب بواسطة إجهاد الزحف مثل ذلك أحد الألواح الكبيرة لبدن السفينة بجوار القائم الخلفى والذى كان يقع عليه إجهاد زحف ووجد به شرخ بطول من 400 مم إلى 500 مم بالقرب من أحد نهايات اللوح ولقد كانوا المسؤلين 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 بطئ نسبيًا 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 جلبة وراس الإسطوانة وربما يحدث الشرخ فى الأسطح الملامسة للحرارة وكثيرًا ما يقال أن هذه الشروخ نتيجة جهد الضغط أو الشد ولكنها ليست كذلك ولكن يرجع سببها لإختلاف درجة الحرارة بين سطحى مقطع المعدن ويسبب هذ إنحناء تمدد السطح الساخن نسبيًا عن الجانب البارد ووقوع السطح الساخن تحت إجهاد الضغط وإذا كان الضغط عنيفاً بما فيه الكفاية فإن سطح المعدن الساخن يتكيف بنسب طفيفة باختلاف تحديد الشكل .

ويتعادل الإجهاد ويخزن وتحدث على سطح المعدن البارد ظواهر كبيرة نسبيًا 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 ثلاجة – 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 جلبة الاسطوانة ، وثبت أن حادثة الإنهيار هذه ليس وبكل تأكيد موجود بهذه السفينة فقط .

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

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

ويوضح شكل 15-20 قطاع لتجويف صمام حاقن الوقود وجزء من غرفة الإشتعال حيث أن الشرخ إخترق المعدن المصبوب للغرفة بالكامل وإمتداده رأسيًا من العلامة C إلى العلامة الأخرى C . ويبين شكل 15-21 وجود نمش فى مقطع تجويف صمام حقن الوقود ويظهر فى الصورة خشونة ونمش فى 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 الكلل فى المنطقة الغير منصهرة بين اللحامين بجانب النمش.

وبالإختبارات المجهرية لمقطع العينة عند النقطة P شكل 15-21 يبين ظهور شرخ يسير إلى الداخل حيث منطقة الإنصهار .

Figure 15.20

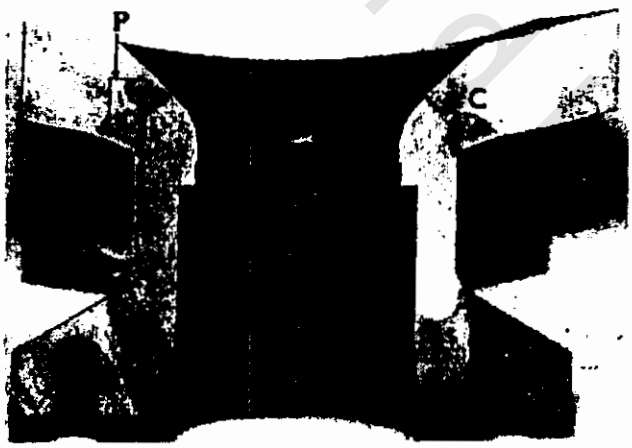


Figure 15.21

وفى شكل22- 15 يوضح شرخ كبير وعميق نتيجة وجود شوائب (خبث) فى النهاية الطرفية للجانب الأيسر للصورة الفوتغرافية .

ويلاحظ شكل23- 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

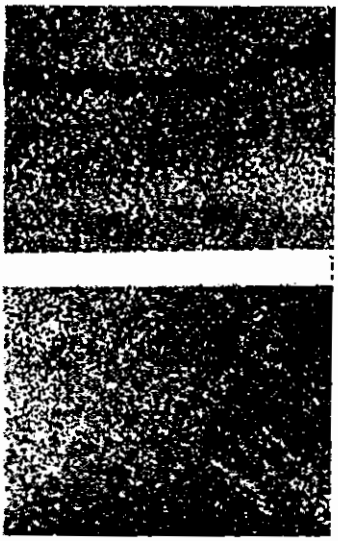


figure 15-23

15.18-إنفعال المعادن نتيجة الصب Casting Strains .

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

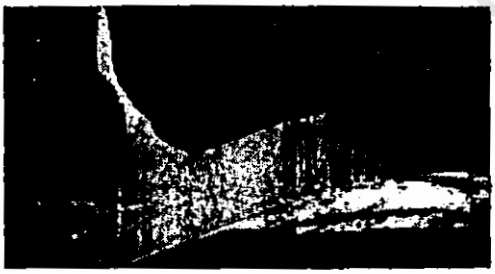


Figure 14. 24

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 للمكابس المصبوبة أن تمكث الشغلة المضبوبة فى الرمل 72 ساعة على الأقل .

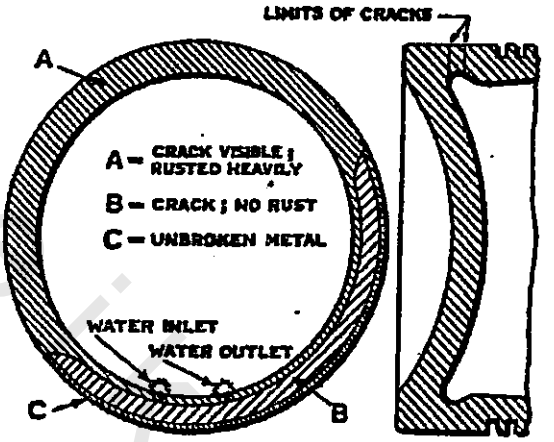


Figure 15-25

وعلى الرغم من أن بعض المصبوبات فى حفر خارجية ممكن رفعها بمجرد تماسكها وذلك للمحافظة على شكلها ، ومع إختبار المعادن ربما يظهر أشياء غير مألوفة وفى وقت قليل من الخدمة يمكن أن يحدث الإنهيار . أما فى شكل 26- 15 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 – الكلل – فى الداخل وتحت تاج المكبس ، وعمل طريق عبر مقطع المعدن مع التصدع النهائى لتاج المكبس ينتج عنه إنفعالاً كاملاً .

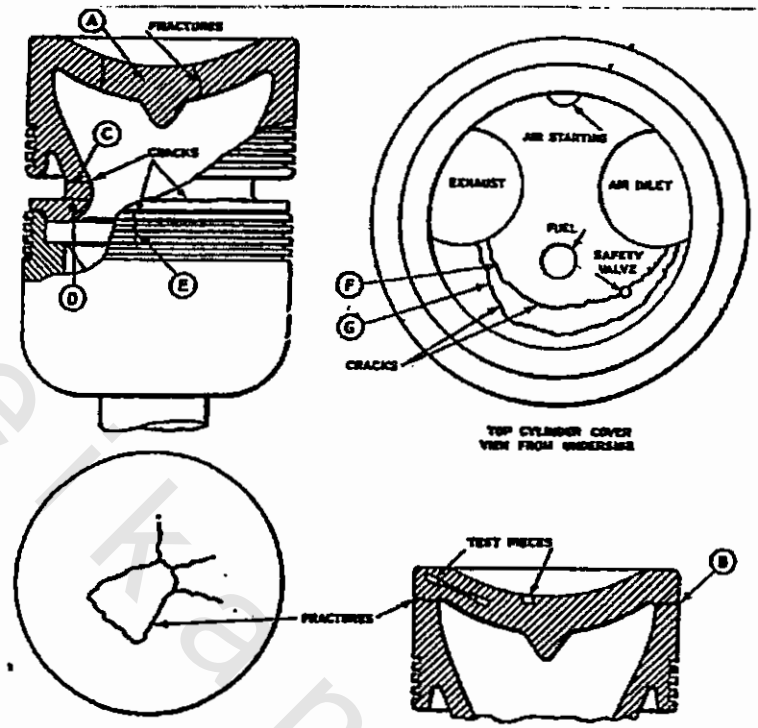


Figure 15-26

وعند النقطة C يوجد هناك شرخ محيطى لمسافة بوصات قليلة عند النقطة D هذا الشرخ بسبب جهد كلل شبيه 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 اليه وتكون العينة من مكان سليم من تاج المكبس ويكون إتجاه الكسر محيطى وأسفل تاج المكبس كما هو مبين بالشكل مع إحتمال أن يتم تحريكه عندما تكون درجة الحرارة لتاج المكبس أكثر من الازم عند توقف المحرك فى فترات المناورة .

وفى هذا الوقت يكون زيت التبريد داخل المكبس فى حالة عدم حركة كما هو عليه فى حالة التشغل الطبيعى للمحركات .

وعندما يبدأ الشرخ فى أعلى المكبس أسفل رأس الإسطوانة كما هو مشار إليه عند العلامة f والعلامة G فى الشكل 26- 15 عادة ما يفسر بأنه قصور – إنهيار – 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 المجمعة من قطعتين وكان هذا تفسيرا خاطأ ، مثلا تملك سفينة عدد إثنين من الرفاصات تعمل على إدارتها إثنين من المحركات وتم عمل صيانة كاملة للمحركات بعد 9 سنوات مع خدمة شاقة وسير بطيئ وحين وجد أن القدرة أقل من اللازم وجد أن أحد الرفاصات الموجود بجانب الرصيف عليه قليل من الحشف وباختصار وبعد تجربة سير موجزة تراكت السفينة على الرصيف وتم حل معظم أغطية الكراسى الثابتة وفى النصف الخلفى لعمود المرفق تم أخذ خلوص الكراسى الثابتة بالفلر وكذلك مراجعة المسافة بين إسطح أفخاذ عمود المرفق وكذلك المسافة الجانبية للكراسى الرئيسية للمحيط الكلى وجد أن المسافة ثابتة وكانت حوالى % 6 من عرض الفخذة ، وكان عمود المرفق من النوع المجمع ، ولاحظ المفتش الهندسى تأثير صدمة وبعد عمل إختبار لمنطقة الصدمة وجد أن الفلر يلاقى 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 .

وفى محرك رباعى الأشواط أحادى التأثير ذو ثمانى إسطوانات و بقطر مكبس 740 mm ومن خلال الكشف بعد 22 سنه من الخدمة أظهر الكشف أن كل أعمدة التوصيل يوجد بها شروخ فى الوجه الأسفل عند رأس مسمار الرباط شكل27- 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 مطبع بواسطة رأس مسمار الرباط تطبيعًا أفقيًا والوجه B يتكون من حائطاً رأسيًا

حادًا ومجوفاً ، والوجهين C , C شكل 28- 15 للسطحين المنفصلين نتيجة الشرخ .

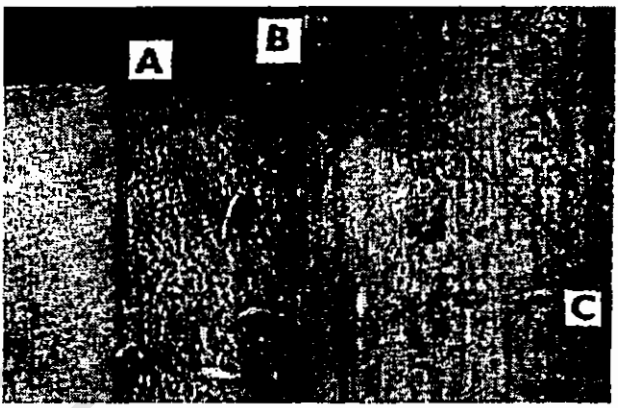


Figure 15-27

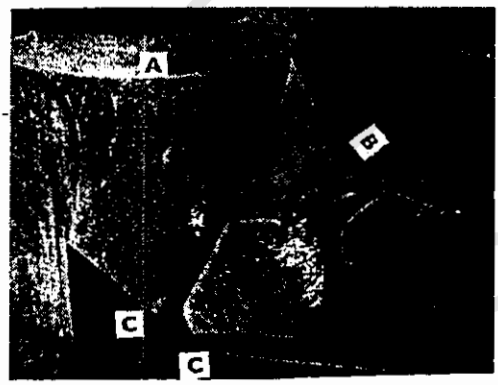


Figure 15-28

15.20- إجهاد الكلل والتآكل الكيمائى Corrosion Fatigue .

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

الأجزاء الدقيقة الناتجة من الإحتكاك تسبب الصدأ مع وجود درجة حرارة متولدة من الإحتكاك فى هذا المكان وتتكون نتوآت نتيجة التآكل وتنقير صغير على أوجه الإسطح .

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

مثال آخر مسامير الرباط التى تكون مربوطة رباطاً جيدًا للتأكد من أن حمل الإحتكاك كبيرًا بما فيه الكفاية ويتقلص فى إتجاه سطح الصامولة مع وجود تمدد متكرر بشرط أن يكون تحت حمل نابض مع حدوث حركة صغيرة جدًا نسبيًا .

وبالخبرة وجد أن التآكل ربما يقلل من حد الكلل للصلب بعكس جهد الإنحناء تصل نسبة % 50 وحدوث التآكل أحيانًا يكون أقل ما يمكن بواسطة عامل كبريتيدات الموليبدنيوم ، وأحيانًا فى حالة الزحف يكون الكسر عند السطح وهذا ليس دائمًا فى توصيف الجزء المصبوب ويكون التصدع نتيجة الكلل الطبيعى ولذلك فإنه يحدث داخل الجزء المصبوب للطوق اللامركزى المذكور فى شكل15-15 والشرخ يبدأ داخل الصب عند نقطة بها إجهادات داخلية متبقية .

15.21 - ألكسر 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 والتى تملك الخبرة الكبيرة لمحركات الديزل البحرية توضح فى النقط التالية .

a– يكون موقع الفلانجة فى حيز التبريد .

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

c– الحلقة الداخلية وأيضًا الحلقة الخارجية مصممة لتتحمل 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 عالى الجودة وغالى الثمن ولهذا السبب كانت الفلنجة مهمة.

3 - وعموما من الناحية العملية فإن الحمل الكامل يؤخذ بعناية بواسطة دعم الفلانجة الداخلية فقط ، والفلانجة الخارجية بها خلوص يساوى 0.001 من البوصة ، ويطلب الملاك أن تشارك الفلانجة الخارجية فى الحمل وكان مطلب غريب ، وبعكس ذلك كان رأى المهندسين الذين يملكون من العلم والخبرة الكبيرة .

وبناءا عليه كان من المحتم أن يتغلب الرأى الثانى .

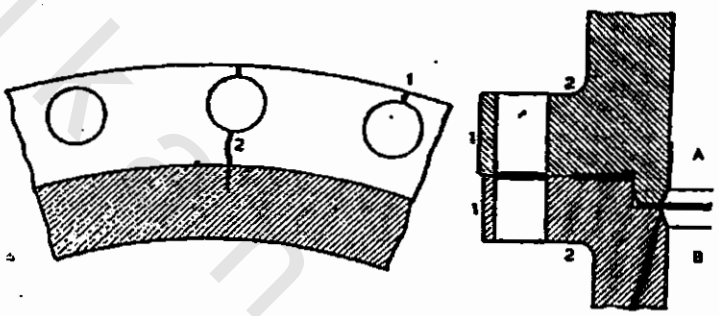


figure 15 .25

وأيضًا كان التصميم مقبول من ملاك بعض السفن الآخرين عند نقط محددة زمنيا وعلى الرغم عندما يكون هناك مئات 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 لغرفة الإحتراق .

ومع تجليخ الفلانجات وإستمرار السفن فى التشغيل وعند الفحص وجد أن كثيرًا من الفلانجات مكسورة وظهرت الشقوق وكثيرًا من الشروخ العرضية فى اتجاه أسطح الإحتكاك .

وبلا شك فإن العطب يكون بسبب إجهاد التآكل ويكون الكسر بسبب إجهاد الكلل . الكسر الناتج عن إجهاد التآكل الكيميائى نتيجة الصدأ من النوع التدريجى ويبدأ من شرخ بسيط وينتهى بعد ذلك تعاميًا عبر مساحة المقطع نتيجة جهد الشد وتكون النتيجة كسر هش .

ومن نتائج أحد كسور إجهاد التآكل الكيميائى ليس من الضرورى أن تقع مسامير الرباط تحت إجهاد شد ، وعلى العكس كثيرًا من المسامير التى تتكسر تحت إجهاد التآكل بالصدأ أكثر مرة ونصف من التى تقع تحت إجهاد الحمل وسوف يكون التآكل بالصدأ للمعدن أزيد بكثير فى السرعة عن إجهاد المعدن وتآكله بفعل الطبيعة .

ومع ذلك يوجد بعض المسامير بها شروخ عرضية .

ومن الشواهد لا يوجد تسرب لغاز العادم عند أسطح الفلانجات التى يتبعها مشكلة فى مسامير الرباط .

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

وعند حل الإسطوانة للكشف على التسريب كان واضحًا أن الحلقة الخارجية وقع عليها حمل فى عدد من الأماكن وكذلك الحلقة الداخلية ولوحظ أن هناك فاصل بين الأسطح وفى الحال فسر هذا لوجود شروخ نتيجة التآكل الكيميائى فى ثقب مسمار الرباط ، وعلامات شروخ فى مسمار الربط وخشونة موضعية داخلية للإسطوانة عند A ومثله فى غرفة الإحتراق عند B .

ولقد تم حل مشكلة الإسطوانة بتغييرها فى الحال ، ولقد تم عمل الإختبارات على جلب الإسطوانات عن طريق فريق من خبراء الميتالورجيا للمحركات التى تعمل فى البحار ، ووجد أن مسامير الرباط للتلفة 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 Fillet's

يوضح شكل 30-15 , 31-15 تأثير إجهاد الكلل على نصف قطر منحنى الإتصال fillet وعلى مسامير رباط فلانجة 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 الكلل الرئيسى لنفس الفلانجة التى تملك أنصاف أقطار صغيرة لمنحنى الإتصال .

وفى الصورة إختيار لنموذجين ومقارنة الإجهاد للفلانجات المربوطة مع بعضها .

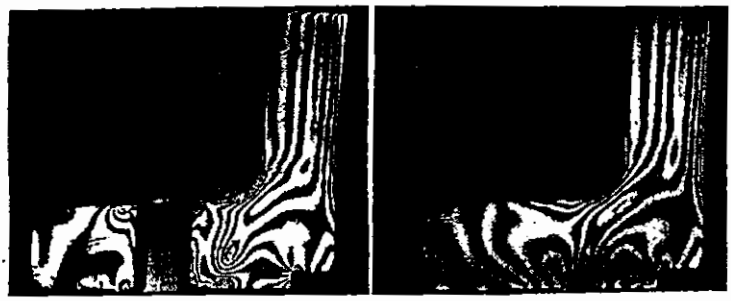


Figure 15-30

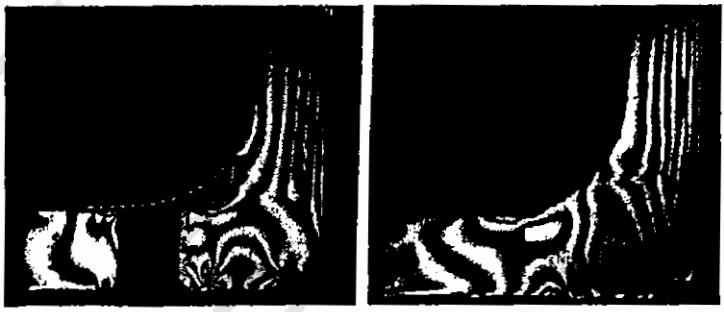


Figure 15 - 31

والإجهادات الحرارية للشغل هى نفسها الإجهادات المماثلة لعزم الإنحناء على مقطع مسامير الرباط ، وكان النموذج تحت إجهاد قوى وأجزاء مقطعية بينية من خلال ثقوب 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- ألإختبارات 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 ناقصًا إذا ما كان التفسير والإستنتاج سليم لسلسلة محركات الدفع.

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

وبتصنيع 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 أوبعيد قوى الحركة عند شغل المحرك وفى النهايه كان من المقرر عمل عدة إختبارات ضغط متكرر لألواح صغيرة متوالية .

ويبن شكل 15-32 , 15-33 قليل من النتائج العشوائية ومن العجب أن

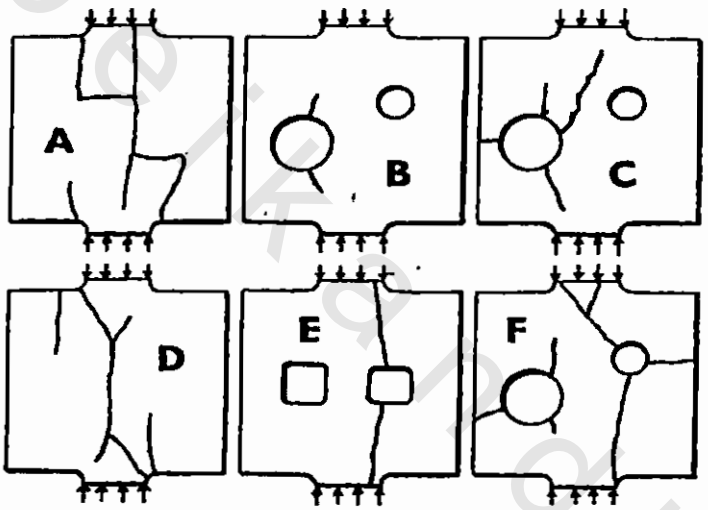


Figure 15-32

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

وشكل 15.32 C , B, A يبين الألواح وكانت بطول 65mm وإرتفاع 60mm وسمك 11mm ، وجميع الألواح مجهزة بالأبعاد المذكورة وكانت من الحديد الزهر المتجانس القوى ، وكانت الألواح معدة مسبقا 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 كاملا عند الحمل 11.5طن .

وإختيار العينات F , E , D 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 33 -15 كانت بإرتفاع 150mm وعرض 65mm وسمك 5.7mm وكانت النتيجة إحتداب اللوح H عند حمل 5.8 طن وظهور شروخ فى اللوح k من خلال الثقبوب عند حمل 4.3 طن ، واللوح G كان بطول 65mm وإرتفاع 60mm وسمك 11mm وتم ظهور شروخات اللوح عند حمل 39 طن وكسره عند حمل 43 طن .

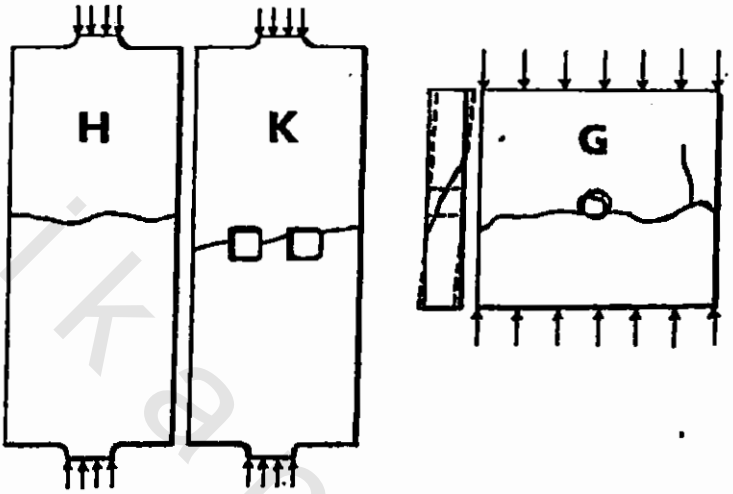


Figure 15-33

obeikandl.com