



RUPTURE DE FATIGUE

Pièce : arbre de gros diamètre (Ø 300 mm).

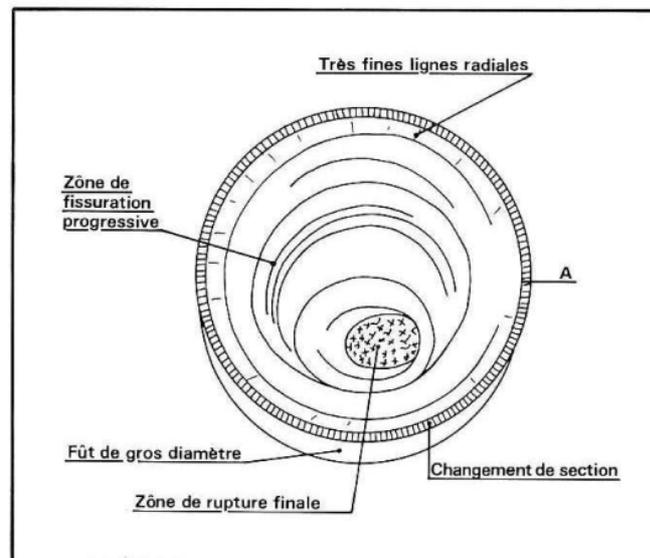
Nuance du métal : XC 45.

Nature des efforts : flexions alternées, d'amplitudes variables dans le temps.

Analyse morphologique : Cet aspect de cassure est typique des ruptures de fatigue en flexions alternées. La rupture est intervenue au raccordement de deux parties cylindriques de diamètres différents d'un arbre, au niveau du contact de la zone de raccordement avec la génératrice du cylindre de plus faible diamètre. Le cliché donne une vue plongeante sur l'autre portion d'arbre. La couronne circulaire marque l'emplacement de la zone de raccordement,

Comme d'observation constante dans un tel cas, la rupture se présente en cuvette dans le tronçon du plus grand diamètre. Les lignes d'arrêt circulaires très serrées montrent que les sollicitations en flexion étaient d'intensité modérée.

Les amorces multiples existent tout au long de la circonférence (A). La rupture finale (zone à grains) est localisée par la bordure elliptique entourant la zone noire.



Remède : Améliorer le raccordement entre les deux corps cylindriques, c'est-à-dire :
a/ augmenter le rayon,
b/ parfaire le poli dans la zone torique.



RUPTURE DE FATIGUE

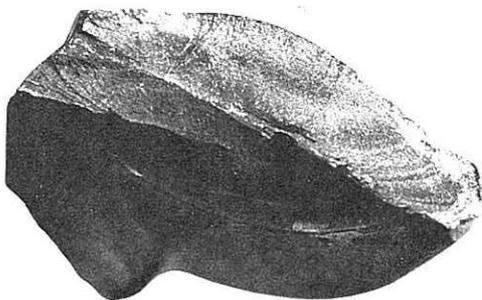
Pièce : vilebrequin de moteur.

Nuance du métal : fonte à graphite sphéroïdal ferrito-perlitique.

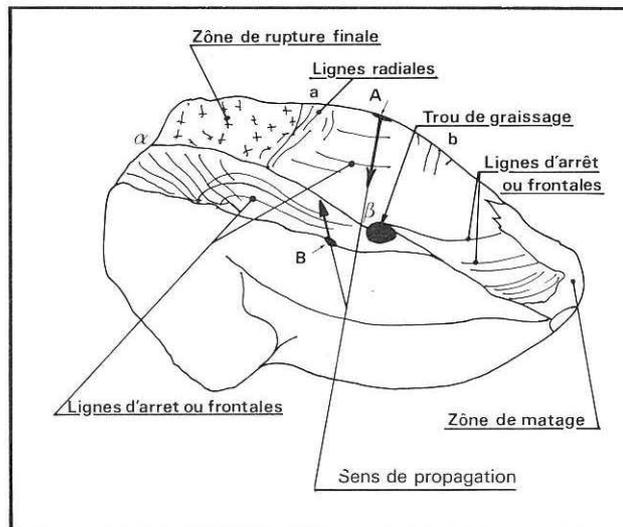
Nature des efforts : sollicitations en flexions planes répétées.

Analyse morphologique : Exemple d'une rupture qui s'est développée à partir de deux sources de concentrations de contraintes dues à des défauts locaux. Chronologiquement c'est au point A, c'est-à-dire au raccord de l'arbre avec le flasque du maneton que s'est produite l'initiation de la rupture. A quelque distance du point A on note la succession classique des lignes d'arrêt au tracé approximativement elliptique. Les lignes radiales s'observent surtout à gauche de ce même cliché. La fissure initiale suit rigoureusement (arc a b) une ligne circulaire qui constitue une rayure très déliée (accident d'usinage). Le moteur continuant à fonctionner, une seconde source est apparue en B sur le flasque au débouché du trou de graissage où l'on peut voir la trace circulaire de lignes d'arrêt. Le vilebrequin s'est rompu et les deux surfaces de rupture successives s'intersectent le long de l'arête $\alpha\beta$.

C'est bien en fait en A que se situe l'amorce première car la zone marquée en blanc (à droite du cliché) marque le matage qui s'est produit par frottements et battements lorsque la liaison n'était plus assurée que par l'intermédiaire du « pont » constitué par la matière de la zone de seconde rupture.



X 1/3



Remède : Apporter un soin particulièrement attentif au polissage de la zone de raccordement (congés) entre manetons et paliers d'une part et flasques d'autre part.

Remarque : Ce cas de rupture doit être rapproché du cas suivant qui intéresse une fonte à graphite sphéroïdal *totale*ment perlitique, c'est-à-dire de plasticité moindre que celle-ci. Le faciès de rupture est, ainsi qu'on le voit, très différent dans l'un et l'autre cas. Le cas présent s'apparente à une rupture de métal moins « sec » que le cas suivant où l'aspect de la rupture est très proche de celui d'un acier à haute teneur en carbone.

RUPTURE DE FATIGUE

Pièce : arbre de moteur Diesel (maneton).

Nuance : fonte GS (fonte à graphite sphéroïdal totalement perlitique).

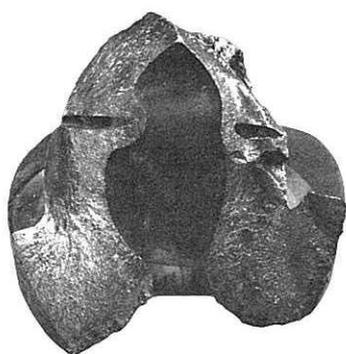
Nature des efforts : torsions alternées.

Particularités : Il s'agit d'une matière coulée. La région centrale du cliché correspond à un évidement réservé au moulage par un noyau. Les parois du maneton sont traversées par un trou de graissage usiné débouchant dans la cavité centrale du maneton (bandes noires de part et d'autre de l'évidement).

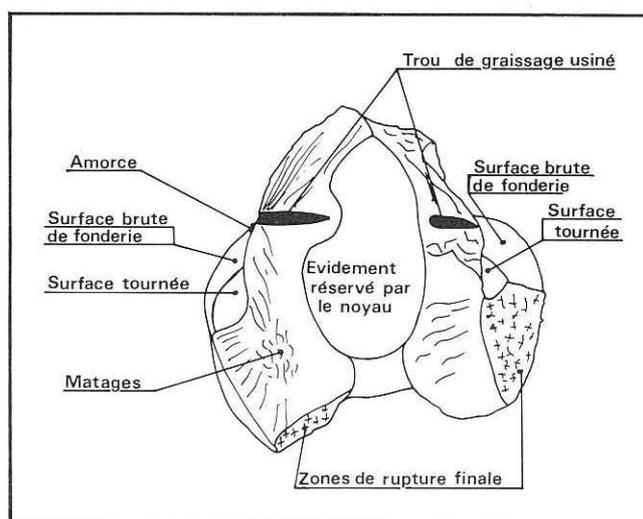
Analyse morphologique : Cet exemple a été choisi pour montrer que dans le cas des fontes, même présentant une certaine ductilité, l'aspect des cassures de fatigue peut être profondément différent de celui des aciers. Le cas des fontes à graphite lamellaire (du type FT) s'apparente à celui-ci. Il en est de même pour tous les matériaux (alliages légers ou ultralégers) à faible plasticité, c'est-à-dire dont les facultés d'allongement avant rupture sont très réduites. Le caractère de rupture par fatigue sera souvent très difficile à distinguer, à vue, de celui de la rupture brutale dite catastrophique : il faudra toujours recourir pour la caractériser à des moyens d'observation plus fins (microscope électronique en particulier). Dans le cas présent la surface géométrique de la cassure offre deux pentes inclinées à 45° sur l'axe et témoigne d'efforts répétés en torsion.

L'amorce de rupture se situe sur la paroi du trou de graissage (à gauche sur le cliché). On devine sur cette zone un striage régulier de lignes radiales de plus en plus serrées au fur et à mesure que l'on approche de la zone de rupture finale.

Les plages blanches sur la partie gauche en bas du cliché sont des zones de matage.



X 1/10



Cause de l'avarie : Outre la probabilité d'utilisation en surcharge du moteur, on doit mettre en cause la présence de stries d'usinage au débouché du trou de graissage qui ont initié et favorisé le développement de la rupture par fatigue aux contraintes cycliques de torsion.

Remède : Améliorer les conditions de forage des trous de graissage et en adoucir la ligne d'intersection avec la surface du maneton.

Inviter l'utilisateur à respecter les limites d'emploi.



RUPTURE DE FATIGUE

Pièce : ressort en fil patenté de \varnothing 2 mm enroulé à froid.

Nuance : acier au carbone nuance XC 85.

Nature des efforts : efforts combinés (tractions, compressions, torsions, flexions répétées).

Analyse morphologique : La nature cumulative des sollicitations combinées se reflète dans l'aspect complexe de la rupture qui en rend l'analyse beaucoup plus délicate.

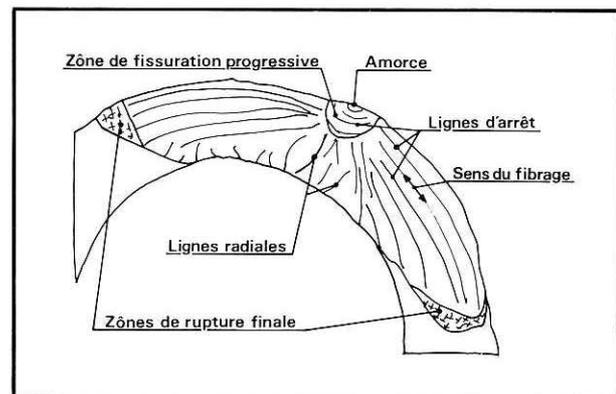
On distingue néanmoins trois zones parfaitement caractérisées :

— à droite une zone à lignes d'arrêt quasi-parallèles à la fibre externe du fil qui épousent à peu près fidèlement le « fibrage » du fil : ces lignes s'étendent de part et d'autre de l'amorce de rupture visible sur le cliché (zone circulaire plus noire). A noter que les lignes d'arrêt sont réparties sur une surface hélicoïdale qui suggère la prédominance de la torsion dans cette première phase du développement de la rupture ;

— à gauche une zone à lignes d'arrêt plus diffuses traversées de lignes radiales mettant ainsi en relief la participation de la flexion dans cette seconde phase de progression de l'avarie ;

— deux zones à grains qui matérialisent les sections extrêmes de rupture brutale.

Cause de l'avarie : Elle est liée à un fibrage trop accusé du métal (teneur trop élevée en inclusions non métalliques). Ces discontinuités microscopiques filiformes sont, en bordure de leurs frontières anguleuses, le siège de concentrations cycliques de contraintes qui déterminent progressivement la dislocation de leur entourage métallique et entraînent la ruine de la pièce. Un défaut macroscopique lui aussi imputable à la qualité insuffisante du métal de base (tache noire en haut vers le milieu du cliché) a précipité le développement de la rupture.



Remède : Porter le choix sur un matériau moins chargé en impuretés non métalliques (taux S,P,Si,Al plus faibles). Contrôler sur prélèvement, à l'entrée sur parc, la composition chimique du métal.

Remarque : Lorsque de telles ruptures se présentent, sur des ressorts enroulés à froid ou à chaud, ils ne mettent pas toujours en cause comme dans cet exemple la qualité du matériau. Nous ne pouvons que recommander de soumettre chaque cas à l'examen de Laboratoires de mécanique spécialisés.



RUPTURE DE FATIGUE

Pièce : Plaque d'ostéosynthèse.

Nuance du métal : alliage inoxydable à base de cobalt.

Nature des efforts : flexions répétées.

Analyse morphologique : La rupture est localisée à une section transversale passant par l'un des trous de vis de fixation.

Sur la figure 2 à plus grande échelle on reconnaît l'aspect caractéristique d'une rupture de fatigue en flexion.

L'amorce de rupture se situe dans le plan diamétral du trou de fixation fraisé. On remarque des lignes d'arrêt circulaires et quelques lignes radiales, enfin les zones de rupture finale granulaires aux deux extrémités de la section.

Cause de l'avarie : Les trous de fixation créent évidemment des réductions de section. Le moment de flexion, perpendiculaire à l'axe long de la pièce, génère des contraintes de flexion maximales aux abords des trous.



Fig. 1. X 1/3.

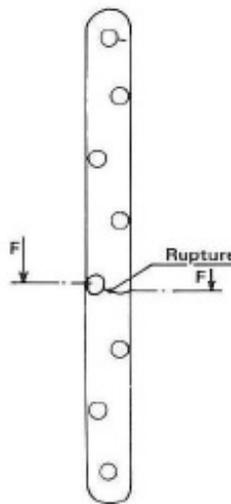


Fig. 2. Vue suivant FF.



Remède : Les rayures internes de perçage constituent en leur fond des zones de concentration de contraintes supplémentaires. C'est une de ces rayures (non visibles sur la photo) qui a servi d'amorce au phénomène. En conclusion il faut soigner l'état de surface de la tôle et la finition du perçage.



RUPTURE CATASTROPHIQUE

Pièce : plaque découpée en tôle de 3 mm laminée à froid.

Nuance du métal : qualité pour emboutissage Q.C.

Nature des efforts : flexion plane.

Analyse morphologique : Il s'agit ici d'un faciès très particulier et très caractéristique de décohesion de la matière lié à la fois au mode d'application de la sollicitation et à la structure du matériau.

L'effort (moment de flexion orienté selon la longueur et dans le plan de la photo) a été, en effet, uniformément appliqué à la surface (côté droit du cliché) de la pièce et ce sont les surfaces de moindre résistance du matériau, (nappes d'inclusions non métalliques) qui ont permis à la rupture de se propager spontanément dans toute la section. La rupture sans signe prémonitoire a pris une allure catastrophique.

La désignation de ce type de cassure dite « en bois pourri » se justifie d'évidence ainsi que le montre la photo 1 par les alignements provoqués dans le lingot d'acier par les pressions de laminage.

Ces observations macrographiques ont été complétées par des examens à forts grossissements ($\times 300$ et $1\ 500$) au microscope à balayage qui confirment bien les déductions faites sur le cliché 1 à l'œil nu (clichés 2 et 3) voir en particulier sur le cliché 3 les cupules allongées, caractéristiques des décohensions par flexion.

Cause de l'avarie : Présence dans le métal de très nombreuses nappes d'inclusions non métalliques. Efforts de flexion uniforme répartis le long d'une ligne parallèle aux rives de la tôle donc dans la direction la moins favorable à la tenue de la pièce.

Le comportement de la feuille de tôle est analogue à celui d'une planche. La tenue à la flexion la meilleure est obtenue lorsque l'effort est appliqué le long d'une ligne perpendiculaire aux fibres.

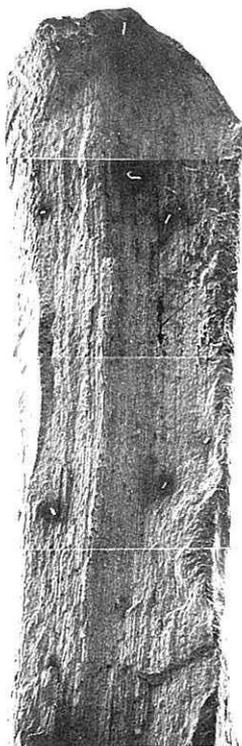


Fig. 1.

Fig. 2. X 300 (ramené à 150 sur la reproduction présentée ici).

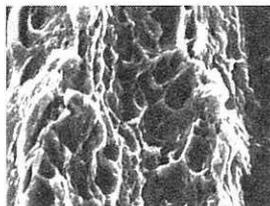
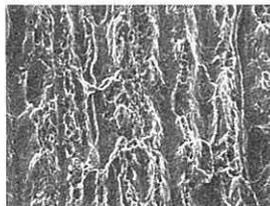
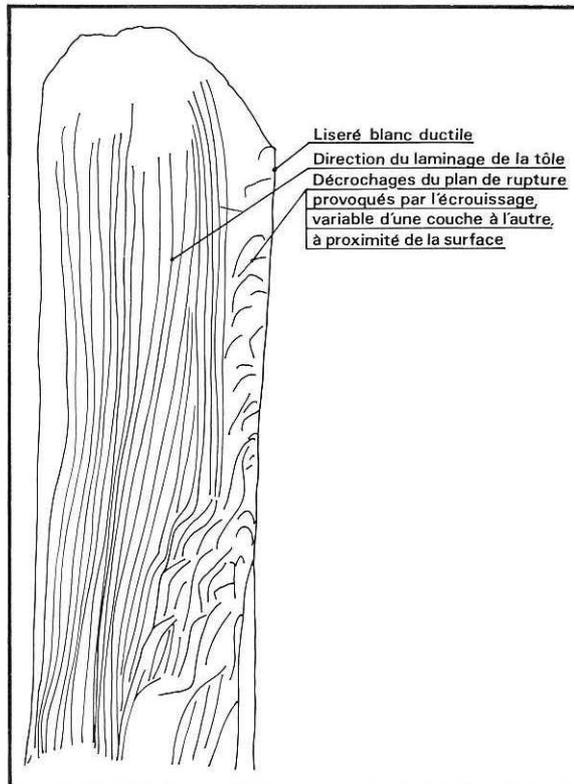


Fig. 3. X 1 500 (ramené à 750 sur la reproduction présentée ici).



Remède : La matière ne convient pas à l'usage prévu.

Choisir dans la gamme des aciers normalisés un métal dont les teneurs en inclusions soient plus faibles (taux de S, P, Al moindres).

Modifier le découpage de la pièce de manière que l'effort de flexion s'applique le long d'une ligne perpendiculaire aux fibres.