

# Vilebrequin de moteur marin 6 cylindres

par L. Huchet

## Nature de l'avarie

Rupture de fatigue en torsion alternée au niveau du 3<sup>e</sup> maneton.

## Matière

Nuance étrangère très proche de la nuance française 38 C 4 définie dans les normes NF A 35-552 et A 35-563.

## Conditions de fonctionnement

Sollicitations cycliques de torsion et de flexion.

## Analyse morphologique

La cassure présente deux plans de rupture (notés  $P_1$  et  $P_2$ ) caractéristiques d'un phénomène de fissuration progressive en fatigue (voir fig. 1 et schéma correspondant).

La zone de raccordement entre les amorces correspondantes notées  $A_1$  et  $A_2$  étant fortement matée, il est difficile de classer chronologiquement l'amorçage et le développement des plans  $P_1$  et  $P_2$ .

Toutefois au niveau de la jonction  $X X' X''$  c'est le plan  $P_2$  qui vient rencontrer le plan  $P_1$  déjà existant à ce stade de la fissuration.

### Plan de rupture $P_1$ :

La soie du maneton est affectée par une rupture de fatigue en torsion (inclinée à  $45^\circ$  par rapport à l'axe) qui se termine par un réseau de fissures constitué d'une fissure transversale, partiellement dentelée à  $45^\circ$ , aux extrémités de laquelle se développent deux autres fissures disposées symétriquement à  $45^\circ$  par rapport à l'axe. Cet ensemble de fissures est très caractéristique de fatigue en *torsion alternée*. (fig. 1).

Ce plan  $P_1$  de la rupture est marquée de lignes d'arrêt dont la courbure permet de situer l'amorce, en sous couche, à la liaison entre la zone traitée superficiellement et le cœur traité dans la masse ; c'est-à-dire dans une zone où le traitement superficiel a généré des contraintes internes défavorables de tension.

La courbure des lignes d'arrêt de la zone traitée superficiellement est différente de celle des lignes frontales relatives à la fissuration en sous couche. Cette dernière s'est déve-

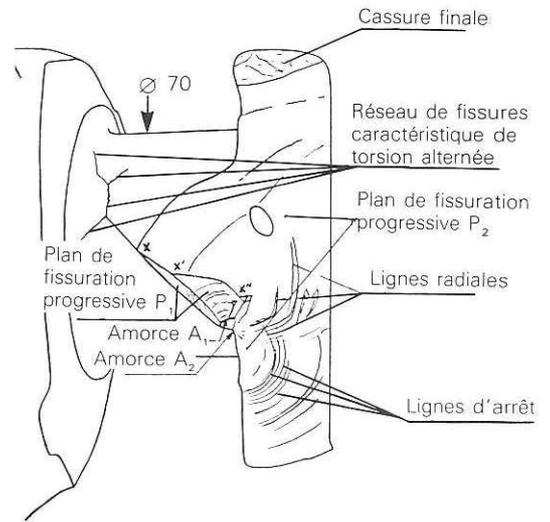
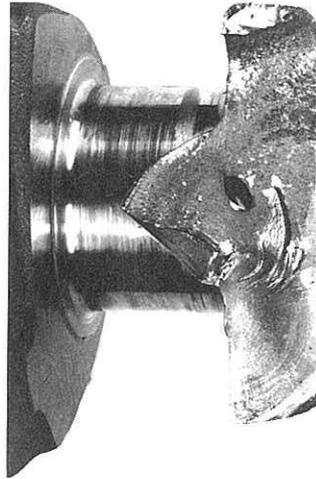


Fig. 1

loppée en premier, alors que la zone traitée superficiellement s'est fissurée avec un léger retard, à partir du fond d'entaille constitué par la première fissure.

### Plan de rupture $P_2$ :

La fissuration progressive s'est amorcée dans le congé raccordant la soie et la joue et s'est développée dans le bras.

Près de l'amorce  $A_2$  dans la zone où les lignes d'arrêt sont nombreuses, la fissure transversale au bras se développe en flexion puis ensuite il y a apparition de lignes radiales qui indiquent une modification du rapport des contraintes élémentaires, la torsion devenant alors prédominante.

La zone de cassure finale est de très faible étendue.

## Examens complémentaires

### Examens macro et micrographiques

Ces examens n'ont pas mis en évidence de défaut métallurgique.

Le profil et l'épaisseur de la trempe superficielle sont corrects et les structures correspondant respectivement au cœur traité dans la masse et à la zone traitée superficiellement sont satisfaisantes.

### Mesures de dureté Vickers

- Zone trempée superficiellement HV 1 = 585.
- Dureté à cœur : HV 30 = 250 soit  $R_m \approx 830 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$  (suivant NF A 03-173).
- Ces caractéristiques normales pour ce type de pièce n'amènent aucune remarque particulière.

Causes de l'avarie	Remèdes
Phénomène anormal de torsion <i>alternée</i> suite à des problèmes mécaniques.	Analyse d'éventuelles anomalies constatées dans le fonctionnement du moteur. Vérification de l'injection notamment au niveau du cylindre correspondant au maneton accidenté. S'assurer de l'efficacité du Damper (hypothèse de vibrations de torsion)

# Arbre

par L. Huchet

(CETIM, Etablissement de Nantes)

## Nature de l'avarie

Rupture par fatigue en flexion alternée.

## Matière

Acier XC 38 H1 traité pour :  
 $800 \leq R_m \leq 900 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$

## Conditions de fonctionnement

Un ensemble levier-galet-came provoque, pour chaque tour d'un cylindre, un mouvement oscillant de l'arbre qui se traduit par une sollicitation de flexion alternée.

En utilisation normale les contraintes de flexion sur l'arbre, non chiffrées, sont jugées relativement faibles.

## Analyse morphologique de la cassure

La cassure s'est développée transversalement à partir du rayon de 0,4 mm raccordant le  $\varnothing 30 \text{ j } 6$  avec un épaulement sur lequel vient s'appuyer un roulement (Fig. 1).

La rupture comporte 3 zones caractéristiques d'une cassure par fatigue en flexion plane alternée (Fig. 2 et 3) :

- deux zones opposées dont le faciès à grain fin, marqué de lignes d'arrêt et de lignes radiales, est significatif d'un phénomène de fissuration progressive en fatigue. La dissymétrie de ces deux zones montre que les contraintes alternées étaient inégales. La présence de nombreuses lignes radiales situées dans les zones d'amorces diamétralement opposées, indique que la fissuration s'est initiée en de nombreux points ; cette constatation est l'indice d'un effet d'entaille important généré par le rayon de 0,4 mm ;
- une zone de rupture finale constituée par le décrochement existant entre les deux premières zones de fissuration progressive.

L'importance des zones de fissuration progressive par rapport à la cassure finale indique que le niveau de contrainte était à peine plus élevé que la limite de fatigue.

Près de la rupture, la surface de l'arbre, sur laquelle était montée avec serrage la bague intérieure du roulement, est altérée par du fretting corrosion ; ce phénomène est l'indice de l'existence de vibrations.

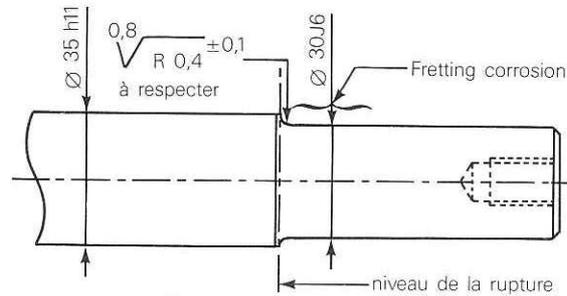


Fig. 1

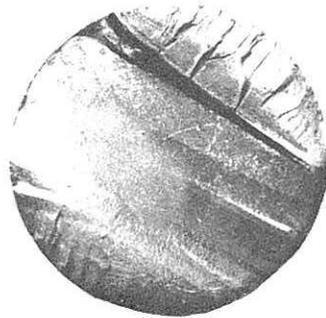


Fig. 2

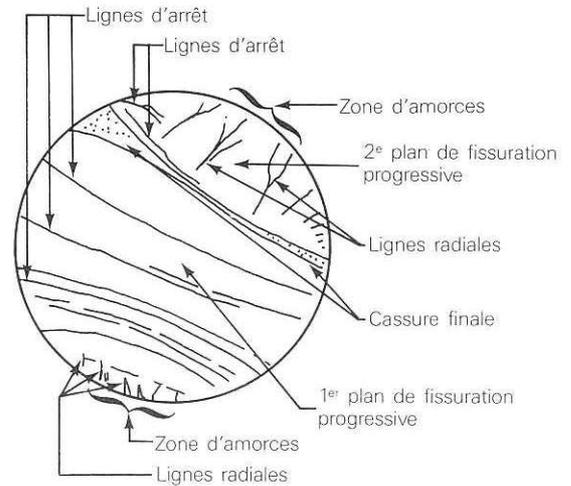


Fig. 3

## Examens complémentaires

### • Examens micrographiques

Les structures assez hétérogènes dans la section de l'arbre sont fonction de la distance avec la surface : au 1/4 du rayon la structure est constituée de martensite, de bainite et de quelques plages de ferrite.

### • Mesures de dureté Vickers HV 30

- près de la surface 271 HV 30
- au 1/4 du rayon 248 HV 30
- à cœur 233 HV 30

Ces variations de dureté concordent avec les hétérogénéités de structures.

Causes de l'avarie	Remèdes
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Le rayon de raccordement de 0,4 mm détermine un coefficient de concentration de contraintes <math>K_t = 2,7</math> (1) et un facteur effectif de concentration de contraintes (en fatigue) <math>K_f</math> de l'ordre de 2,3 (2)</li> <li>– La structure observée au 1/4 du rayon de l'arbre n'est pas optimale pour l'obtention d'une bonne résistance à la fatigue en flexion.</li> <li>– Existence de vibrations.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Augmenter au maximum le rayon de raccordement dans les limites des impératifs de montage ; si l'augmentation du rayon n'est pas envisageable, rechercher une modification du dessin de la pièce (ex. gorge de décharge) permettant une amélioration de la tenue à la fatigue.</li> <li>– Choisir un acier ayant une trempabilité permettant d'obtenir une structure entièrement martensitique au 1/4 du rayon (nuance 38 CD 4) (3)</li> <li>– Rechercher et maîtriser les causes des vibrations. Eventuellement reconsidérer les tolérances de montage du roulement sur l'arbre.</li> </ul>

(1) « Guide du dessinateur : Les concentrations de contraintes » Document CETIM

(2) « Recueil de données technologiques sur la fatigue » Document CETIM

(3) Méthode CETIM de choix des aciers. *CETIM Informations* n° 70

# Maillon d'élevateur

par G. Baratto, J.-J. Guérin, J. Mongis, (CETIM, Etablissement de Senlis)

## Nature de l'avarie

Rupture en service au niveau de l'un des trous de passage d'axe d'un maillon de chaîne d'élevateur.

## Matière

Acier 16 MC 5 de la norme NFA 35-551 estampé puis cémenté trempé pour une dureté superficielle de 59-61 HRC et une profondeur conventionnelle de cémentation de 0,4 à 0,6 mm.

## Conditions de fonctionnement

Sollicitations de traction ondulée dues aux variations de tension de la chaîne au cours de sa progression.

## Analyse morphologique de la rupture

La rupture, située comme l'illustre le cliché 1, présente un faciès caractéristique d'une fissuration progressive amorcée puis développée sous l'action de sollicitations cycliques de traction correspondant aux contraintes normales de fonctionnement. On relève en effet (cliché 2 et schéma 1) :

- une zone soyeuse de fissuration progressive, perpendiculaire à l'axe longitudinal du maillon, marquée de nombreuses lignes d'arrêts concentriques au site d'amorçage « S » (une marque brillante en surface).
- une zone grenue, siège de la rupture brutale finale, se développant aussi sur les plans 2 et 3.

Cliché 1

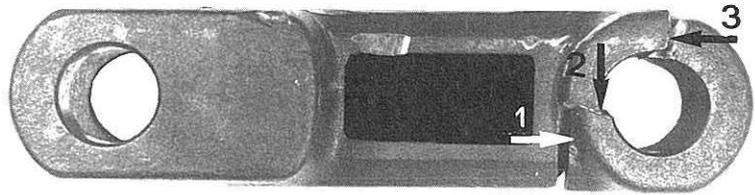
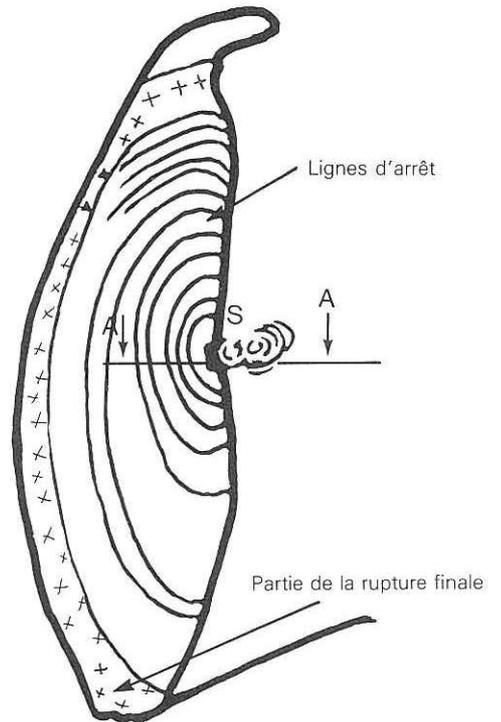
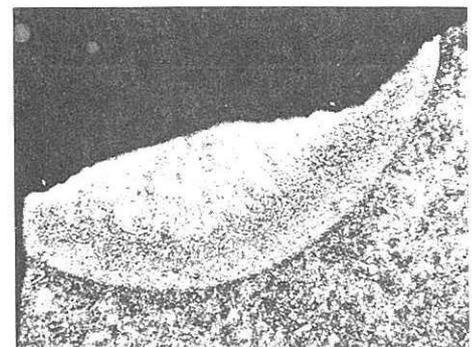


Schéma 1



Cliché 2  
Vue du plan 1



Cliché 3 (x 30) attaque Nital

## Examens complémentaires

Une coupe métallographique pratiquée selon le plan AA du schéma 1 montre que le site d'amorçage S correspond à une fusion ponctuelle de l'acier (cliché 3). Une enquête auprès de l'utilisateur a permis d'établir qu'elle est imputable à un amorçage malencontreux de l'arc d'un poste à souder sur le maillon au cours d'une opération d'entretien.

## Commentaires

Causes de l'avarie	Remèdes
<ul style="list-style-type: none"> <li>— Fusion locale de l'acier provoquée par un coup d'arc accidentel lors de l'amorçage de l'électrode d'un poste à souder.</li> <li>— Développement d'une fissure de fatigue depuis la zone perturbée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Informer le personnel d'entretien sur les risques occasionnés par les amorçages d'arc sur des organes de machine soumis à des sollicitations cycliques.</li> </ul>

## Taillant de forage

par G. Baratto, J.-J. Guerin,  
et J. Mongis  
(CETIM, Etablissement de Senlis)

### Nature de l'avarie

Rupture par fissuration en fatigue du corps d'un taillant de forage sous sollicitations répétées de compression/traction.

### Matière

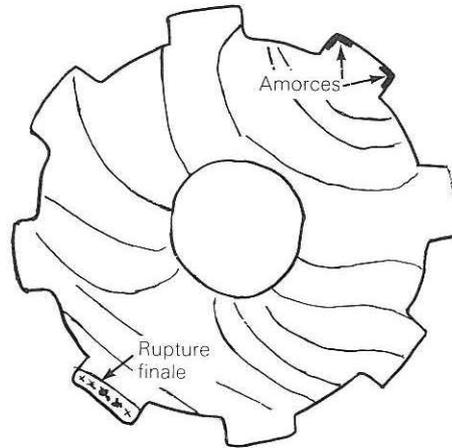
Nuance AISI 4340 (40 NCD 7). Traité à cœur pour  $970 \leq R_m \leq 1180$  MPa.

### Conditions de fonctionnement

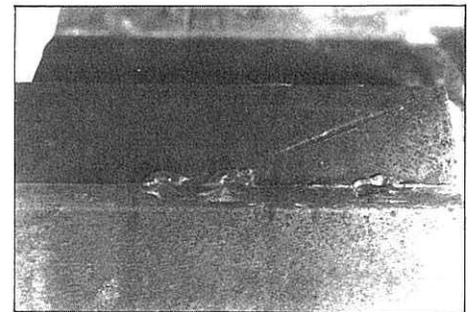
Ce taillant sert au perçage de sols granitiques. Il subit des chocs à sa partie supérieure et on lui imprime une rotation pour assurer l'avancée du front de taille. Il coulisse dans un tube cannelé.

### Analyse morphologique

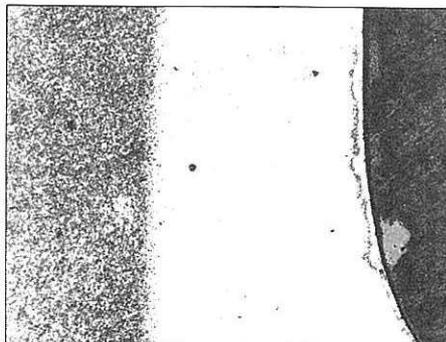
La faciès de la rupture est caractéristique d'une rupture par fatigue sans surcharge : la zone de rupture brutale finale est extrêmement réduite. L'amorce de la rupture se situe en périphérie du corps, au voisinage d'une dent mais un fort matage de surface en empêche son exploitation.



Aspect de la rupture



Aspect des cannelures



× 250

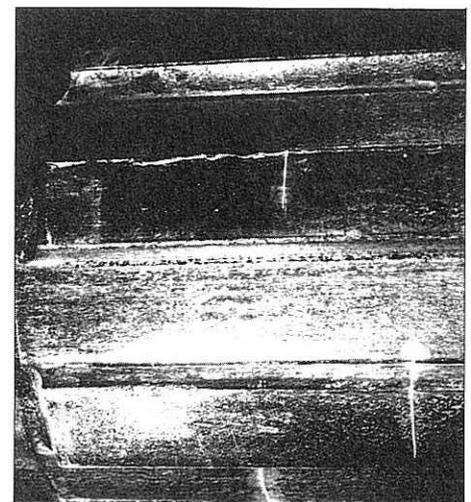
Micrographie AA

### Examens complémentaires

On a noté, sur un même côté de toutes les dents des traces d'adhésion, d'échauffement, des enfoncements. Par examens micrographiques, on leur associe des phénomènes de retrempe de l'acier, par magnétoscopie des fissurations en voie de développement, vraisemblablement du même type que la rupture principale.

### Commentaires

Cause de l'avarie	Remèdes
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frottements avec échauffements importants sur la face travaillante des dents.</li> <li>- Adhésion des surfaces frottantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eviter l'introduction de particules dans l'interstice corps de taillant/glissière.</li> <li>- Favoriser le refroidissement en cours de fonctionnement.</li> </ul>



Magnétoscopie sur cannelures