

Pignon extérieur de pompe à huile

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

Nature de l'avarie

Fissuration par fatigue d'un pignon de pompe à huile, puis déformation et destruction complète par grippage.

Matière

Le pignon extérieur est usiné à partir de tubes en fonte grise issus de coulée continue centrifuge. Le graphite se présente sous forme lamellaire. (Classe 40 de la norme ASTM A48).

Conditions de fonctionnement

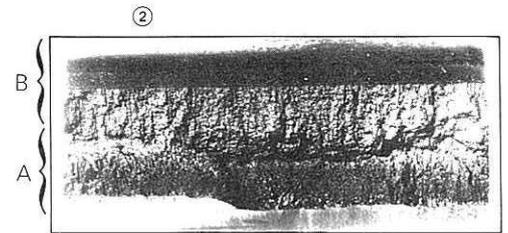
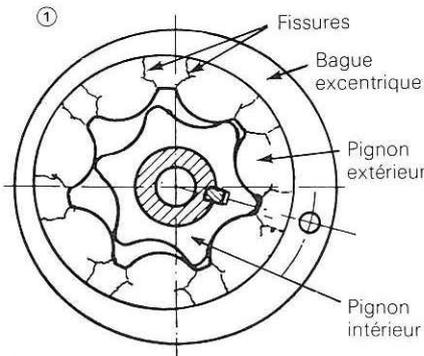
Entraînement en rotation par le pignon intérieur avec guidage extérieur par bague excentrique (voir dessin ①). Le jeu radial entre pignon extérieur et bague est faible : $\approx 80 \mu\text{m}$.

Analyse morphologique

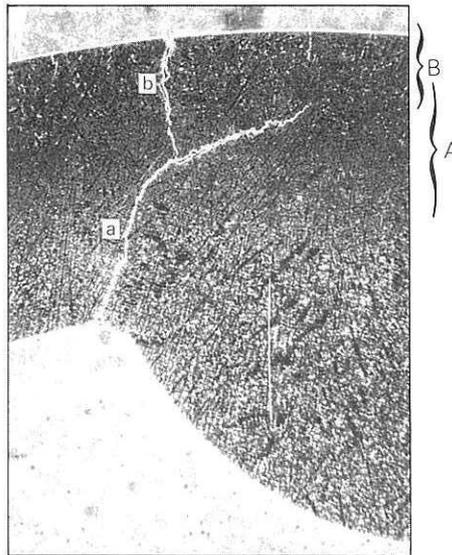
Le pignon présente des fissurations « passant » par chacun des angles des fonds de sa denture (voir dessin ①). L'aspect macrographique des ruptures (naturelles ou provoquées en laboratoire) révèle deux zones : une zone B, d'aspect noirâtre et une zone A, plus interne, d'aspect brillant. (Voir cliché ②).

Examens complémentaires

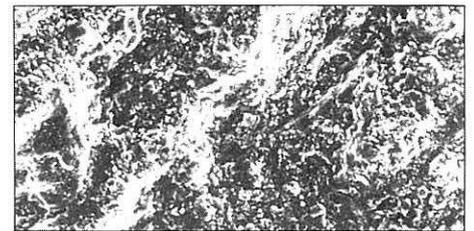
- Une coupe transversale du pignon au niveau de fissurations non ouvertes révèle que les zones A et B sont le résultat de la rencontre de deux fissures a et b. Leur disposition montre clairement que la première a précédé et arrêté le développement de la seconde (Cliché ③).
- Les faciès microfractographiques des zones A et B montrent une forte oxydation du plan de fracture B ainsi que des striations de fatigue sur le plan de fracture A (Clichés ④).
- Enfin des examens micrographiques et un profil de microdureté ont mis en évidence une trempe de la fonte vers le diamètre extérieur du pignon. (Courbe ⑤).



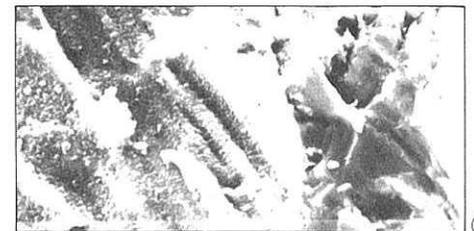
Aspect macrographique des ruptures (vue de côté)



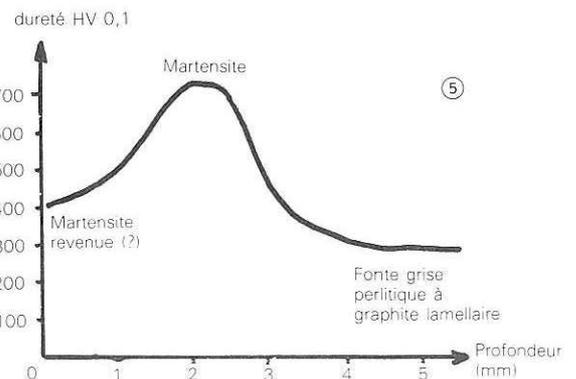
Section transversale du pignon ③



zone B Electrons secondaires au microscope électronique à balayage



zone A Electrons secondaires au microscope électronique à balayage ④



Commentaires

Compte-tenu des observations précédentes et de l'enquête menée auprès du client, on peut proposer le schéma de dégradation suivant :

Remèdes

Identifier la cause mécanique de l'augmentation de l'effort d'entraînement en rotation.



Arbres à épaulements rapportés

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

Nature de l'avarie

Rupture par fatigue d'arbres de machines au niveau d'épaulements rapportés par soudage sur une de leurs extrémités sans serrage (voir dessin ① et section macrographique ②).

Matière

Acier ferrito-perlitique non allié au carbone de type A 70-2. $R_m \approx 680$ MPa (N/mm²), $R_e \approx 610$ MPa (N/mm²) (structure visualisée en ⑤).

Conditions de fonctionnement

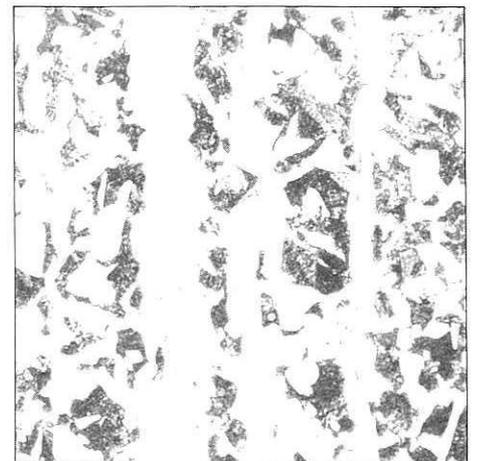
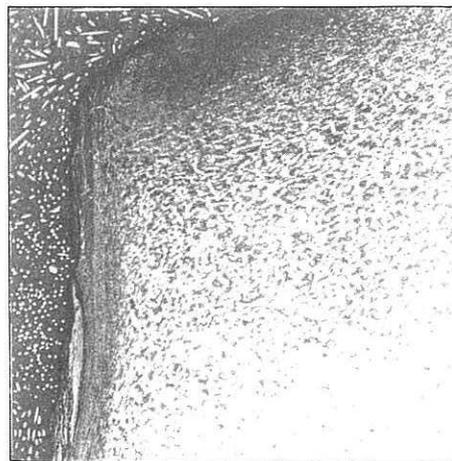
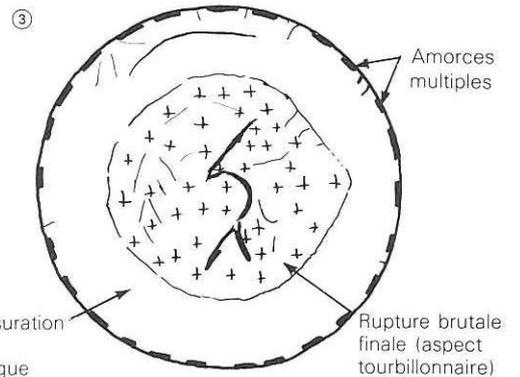
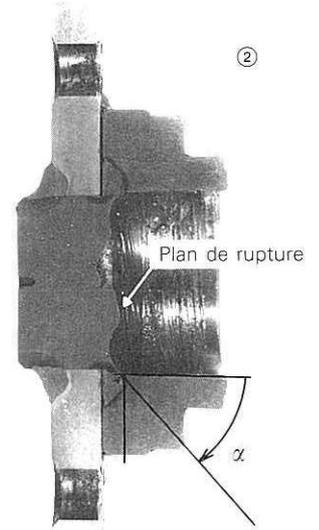
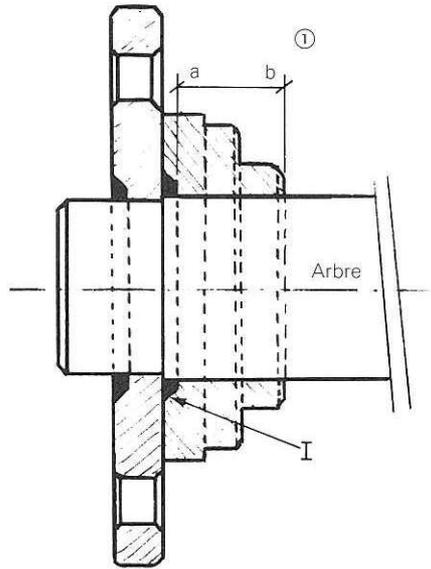
Sollicitations combinées de torsion et de flexion rotative avec, sur les machines incriminées, des surcharges accidentelles dues à des mauvais réglages de sécurités.

Analyse morphologique

Toutes les ruptures sont imputables à des phénomènes de fissuration par fatigue des arbres (zone soyeuse à grain fin, externe). Les amorces sont multiples, en périphérie ; c'est la preuve de sévères concentrations de contraintes à leur niveau. Les fissures se sont développées sous l'effet des contraintes de flexion rotative comme l'atteste leur angle de pénétration vers l'axe (α), différent de 90°. Enfin la rupture finale présente un aspect tourbillonnaire : elle s'est donc produite sous l'effet des sollicitations de torsion dont le niveau moyen est tout de même relativement élevé (surface de rupture brutale assez importante par rapport à celle de la zone de fatigue).

Examens complémentaires

L'examen macrographique de la section axiale des épaulements ② et l'examen micrographique des zones d'amorçage ④ montrent que les fissurations se sont initiées aux points I de fin de soudure des épaulements sur l'arbre. Cela signifie que la zone a-b (dessin ①) n'a pas eu d'effet de renforcement de la section de l'arbre ; Au contraire elle s'est comportée comme une pré-fissuration favorisant les concentrations de contraintes aux points I. A ceci s'ajoutent des effets néfastes de trempe sous cordon de l'acier.



Commentaires

Causes de l'avarie	Remèdes
<ul style="list-style-type: none"> - Conception favorisant les concentrations de contraintes. - Surcharges accidentelles. - Acier difficile à souder (risque de fissuration). 	<ul style="list-style-type: none"> - Fabrication d'un arbre épaulé - forgé d'un seul tenant ou emmanchement serré. - Respect et bons réglages des sécurités de la machine.

Tige de soupape

par L. Huchet
(CETIM, Etablissement de Nantes)

Nature de l'avarie

Rupture transversale de la tige de soupape après 17 heures de service.

Matière

Acier pour soupapes d'échappement Z 40 CSD 10 (norme NFA 35-579).

Conditions de fonctionnement

Sollicitations cycliques axiales.

Analyse morphologique

La surface de la cassure comporte trois zones distinctes :

- A partir de l'extérieur, et ceci sur environ la moitié de la périphérie, une 1^{re} zone oxydée à grain fin.
Le degré d'oxydation est uniforme sur toute cette partie de la rupture.
- Une deuxième zone intermédiaire non oxydée, d'environ 0,3 mm de large qui présente un grain très fin et qui est caractéristique d'une fissuration progressive en fatigue.
Amorcée sur la première zone, cette partie de la cassure doit correspondre aux 17 heures de service.
- Une troisième zone non oxydée qui occupe une partie importante de la section transversale, comportant un faciès du type semi-fragile avec quelques chevrons. Elle constitue la cassure finale brutale.

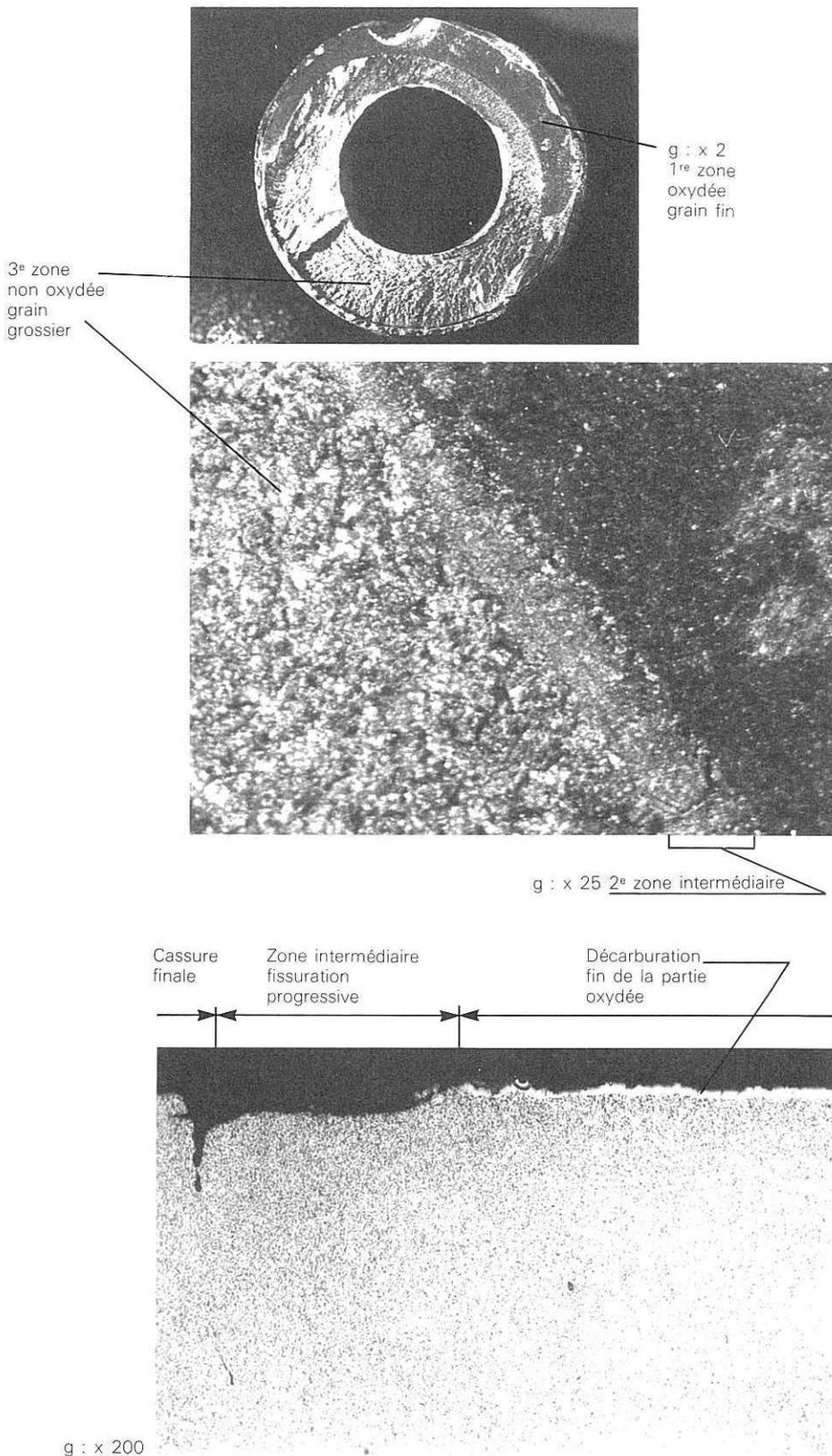
Examen complémentaire

Examen micrographique

Cet examen fait apparaître la fin de la zone oxydée qui s'accompagne d'une décarburation d'environ 1,5/100 mm, la zone intermédiaire et le début de la 3^e zone de cassure finale.

Commentaire

La zone oxydée et décarburee correspond à une fissuration antérieure à la mise en service. La décarburation s'est produite lors des montées successives en température mises en œuvre dans la gamme de fabrication de la tige de soupape. C'est à partir de ce défaut que s'est amorcé un phénomène de fatigue relativement court conduisant à la rupture finale brutale.



Causes	Remèdes
Fissure préexistante.	Contrôle non destructif en cours de fabrication.

Embout de hauban

par L. Huchet

Nature de l'avarie

Rupture de fatigue en flexion répétée.

Quelques fils du câble serti dans l'embout présentent également des ruptures de fatigue.

Matière

Acier inoxydable Z 2 CND 17-12 (défini par la norme NF A 35-574).

Conditions de fonctionnement

La forme de la pièce, son mode de fixation sur le mât ainsi que le désalignement de l'embout et du câble à la sortie de la zone de sertissage déterminent en cours d'utilisation, au niveau du cintre, des contraintes de flexion qui se traduisent par une tension côté intrados (voir fig. 1). Ces contraintes sont variables en fonction des réglages et des efforts dynamiques en service.

Aux contraintes de service viennent s'ajouter les contraintes résiduelles générées par le formage de l'embout (pliage à froid) qui sont défavorables dans la zone d'amorce de la rupture.

Analyse morphologique

— La cassure de l'embout de hauban présente deux zones très caractéristiques d'une rupture par fatigue en flexion répétée (fig. 2 et schéma correspondant) :

- une zone légèrement oxydée et relativement lisse qui correspond au phénomène de fissuration progressive en fatigue,
- une deuxième zone plus brillante qui constitue la rupture finale brutale.

La zone de fissuration progressive est marquée de nombreuses lignes d'arrêt qui correspondent aux positions successives du front de fissuration et dont la courbure permet de localiser l'amorçage au niveau de l'intrados du cintre de la pièce.

La présence de lignes radiales indique que la fissuration s'est initiée à partir de plusieurs amorces.

- Les deux fils du câble rompus comportent également des ruptures typiques d'un phénomène de détérioration en fatigue (fig. 3, 4 et schéma correspondant).

Examens complémentaires

Les examens micrographiques réalisés sur l'embout n'ont mis en évidence aucune anomalie métallurgique. Ils ont révélé, par contre, l'existence de nombreux défauts de surface à partir desquels s'initient des microfissures de fatigue (fig. 5).

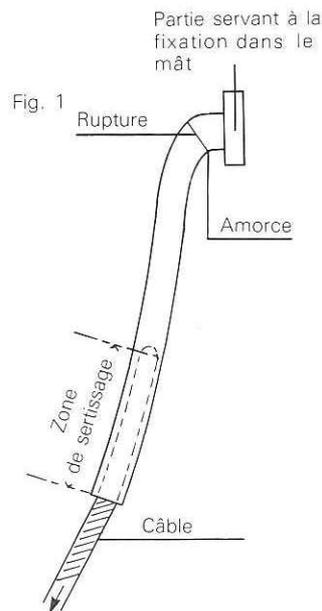


Fig. 2
Rupture de l'embout de hauban
g : x 3

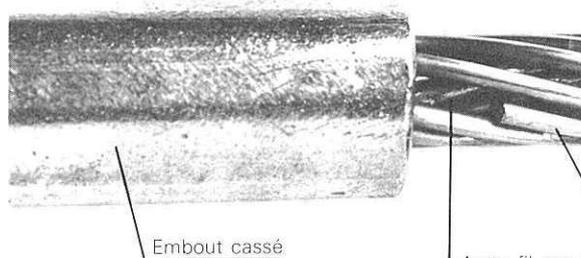
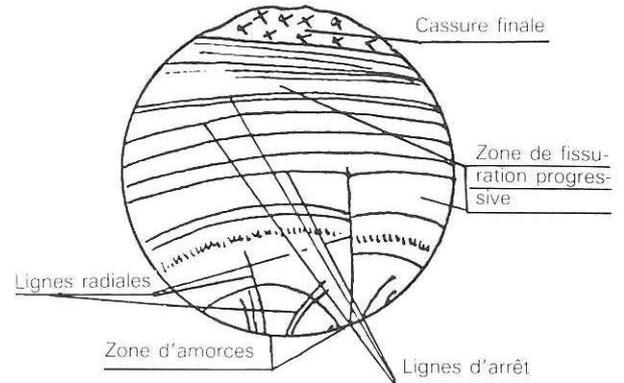


Fig. 3
g : x 2

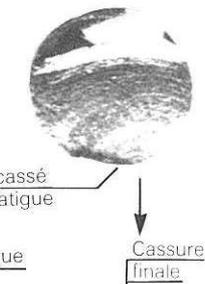
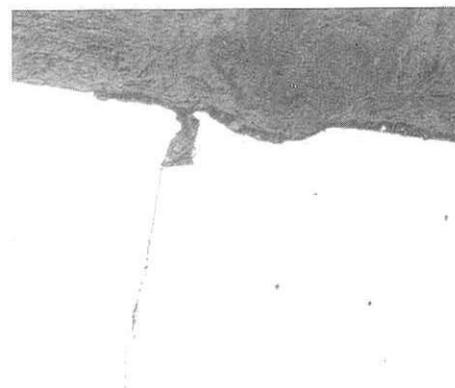


Fig. 4
g : x 14
Amorce
Zone de fissuration progressive

Fig. 5
g : x 200

Polissage mécanique - sans attaque

Développement d'une microfissure à partir d'un défaut de surface.

Causes	Remèdes
Nombreuses irrégularités de surface constituant des sites d'amorçage de fissures.	Prévoir un traitement de surface mécanique dans la gamme de fabrication, pour éliminer les éventuels défauts superficiels.
L'existence de plusieurs cassures de fatigue sur différentes pièces d'un même ensemble (embouts et fils) permet de supposer que toutes ces pièces étaient surchargées suite à une mauvaise utilisation (réglages inadaptés conduisant à une tension trop élevée) ou à un problème de conception (sous dimensionnement de l'ensemble, sous estimation des contraintes de flexion).	Reconsidérer la conception du système de fixation des haubans sur le mât de façon que les embouts de haubans et les câbles (dans les zones de sertissage) soient sollicités uniquement en traction.