Arbre de roue centrifuge (1)

par J.-J. Guérin, G. Colin
(CETIM, Établissement de Senlis)

Nature de l'avarie

Rupture en service de l'arbre de la roue du 3e étage d'un compresseur centrifuge au bout de 32 mois de fonctionnement continu.

Matières

L'arbre est réalisé en acier de construction spécial pour traitement thermique, durci par trempe et revenu pour une résistance à la rupture de 1000 MPa environ. La roue a été obtenue par moulage d'un acier inoxydable martensitique du type 17-4 PH.

Conditions d'utilisation

L'assemblage entre arbre et roue est réalisé par un emmanchement en trigône. La partie mâle de l'arbre est entaillée selon un plan médian M et son expansion – provoquée par une vis de fixation V – assure le blocage de la roue par l'effet de serrage ainsi engendré (**Fig. 1**). Ce mobile tourne à la vitesse de 52 000 tr/mn.

Analyse morphologique

Le plan de rupture R est normal à l'axe de révolution du mobile. Il concerne une des deux « pattes » du trigône et passe précisément par la gorge à fond circulaire pratiquée entre trigône et arbre (**Fig. 1, 2** et **3**). Son aspect, décoré de lignes courbes, est typique d'une décohésion par FATIGUE de flexion.

On note aussi des dégradations de surface sur la soie de la patte rompue (⇗, **Fig. 3**) dont le relief, d'aspect métallique, est rigoureusement antagoniste à celui d'autres dégradations visibles à l'intérieur du logement de la roue (⇗, **Fig. 4**).

Examens complémentaires

On a réalisé des **coupes métallographiques** au travers des dégradations superficielles de la patte rompue et du logement de roue (**Fig. 5** et **6**).

Sur la première, on a relevé des plastifications superficielles et une incrustation métallique plus noble que l'acier de base de l'arbre. Sur le second c'est l'inverse : l'acier inoxydable de la roue a été « malaxé », en surface, avec un acier plus sensible au réactif micrographique utilisé.

Cet ensemble d'observations est typique d'un phénomène d'usure par petits débattements (fretting), sans émission de particules d'oxydes mais avec adhésion et grippage.

Par mesures de **micro-duretés**, (**Fig. 7**) on relève des écrouissages associés en surface et, en sous-couche, un revenu du fait de la chaleur dégagée par la déformation plastique de l'acier.

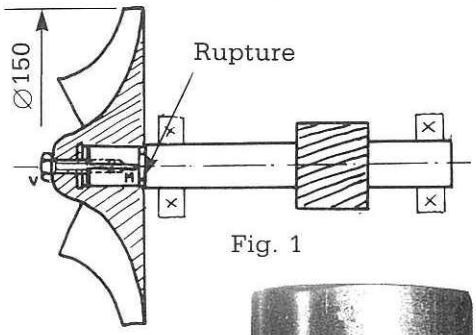


Fig. 1

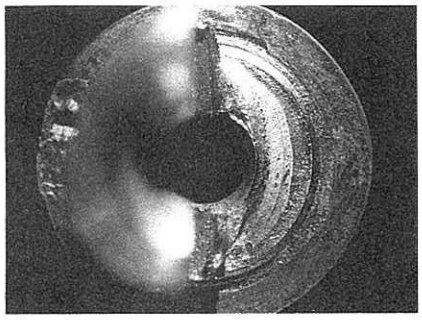


Fig. 2

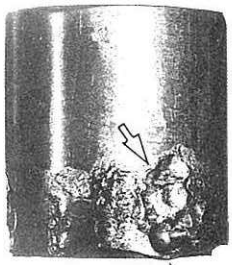


Fig. 3

Attaque Vilella

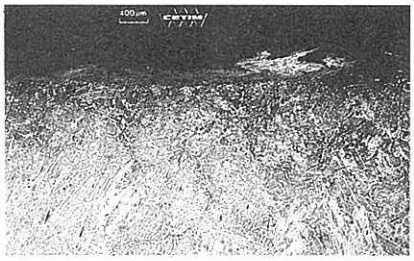


Fig. 6

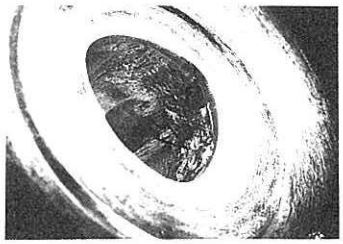


Fig. 4

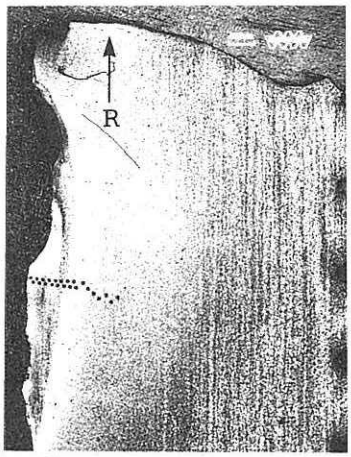
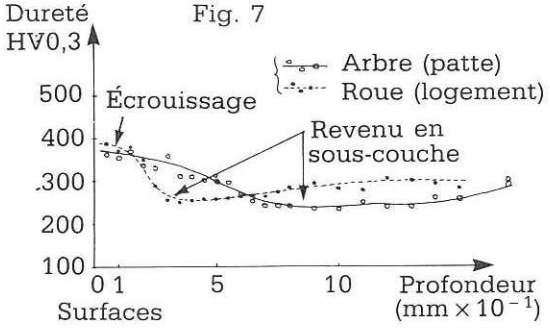


Fig. 5 Attaque Nital

Fig. 7



Commentaires

Cause de l'avarie	Remèdes
• Dégradation progressive de l'ajustement arbre-roue, du fait de la détérioration du contact patte-logement par **usure par petits débattements.** • Apparition de sollicitations parasites de flexion cyclique d'où fissuration en fatigue.	Éviter l'usure par petits débattements par : • un meilleur ajustement des organes (collage, éventuellement) ; • diminution du niveau vibratoire général ; • revêtement des surfaces par un matériau accomodant les déformations imposées (Cd, PTFE, etc.).

Arbre de roue centrifuge (2)

par J.-J. Guérin, G. Colin
(CETIM, Établissement de Senlis)

Nature de l'avarie

Rupture en service de l'arbre du 2e étage d'un compresseur centrifuge, au bout de 38 mois de fonctionnement continu. Il s'agit du même compresseur que celui ayant fait l'objet de la fiche précédente «arbre de roue centrifuge (1)».

Matières et conditions d'utilisation

Voir les indications portées sur la fiche concernant la rupture de l'arbre du 3e étage. La vitesse de rotation est, cette fois, de 44 000 t/mn.

Analyse morphologique

La rupture s'est développée au niveau de la gorge circulaire pratiquée entre le trigône expansible et la soie cylindrique de l'arbre (**Fig. 1** à 3). Elle concerne cette fois le trigône entier qui est resté en place dans le logement de roue (**Fig. 2**). En outre, elle passe précisément par une des arêtes du fond d'une des entailles longitudinales du trigône, au voisinage duquel elle présente un aspect soyeux et une forte inclinaison (**Fig. 2** et **4b**). Ceci indique que la décohésion est une fissure de FATIGUE développée en flexion rotative/torsion gauche. L'action de la torsion normale de l'arbre est regrettable, à ce niveau.

Des dégradations de surface sont aussi facilement repérables, après démontage, sur les surfaces en contact du trigône et du logement de roue. Leur aspect rougeâtre (**Fig. 4** et **5**) suggère une USURE par PETITS DÉBATTEMENTS avec émission de particules d'oxydes (FRETTING). Au niveau du contact entre flasque plan arrière de la roue et arbre (⇗, **Fig. 2** et **3**) on relève des reliefs évoquant aussi une usure induite par petits débattements ayant évolué, dans ce cas, vers un grippage.

Examens complémentaires

Une **coupe micrographique** réalisée sur une coupe méridienne de l'arbre, au travers du grippage plan, confirme (**Fig. 6**) un microsoudage d'une particule métallique de la roue, inoxydable, sur l'arbre, en simple acier de construction.

Structures et dureté sont sans anomalie.

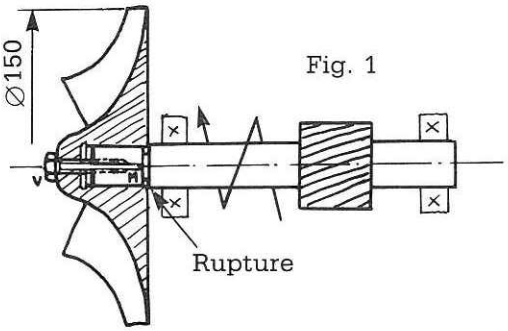


Fig. 1

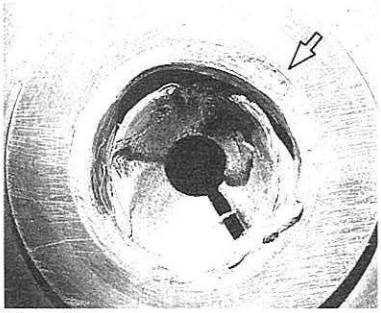


Fig. 2

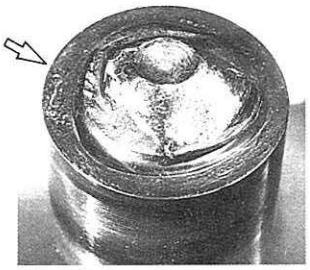


Fig. 3

Fig. 4a

Fig. 4b

Fig. 5b

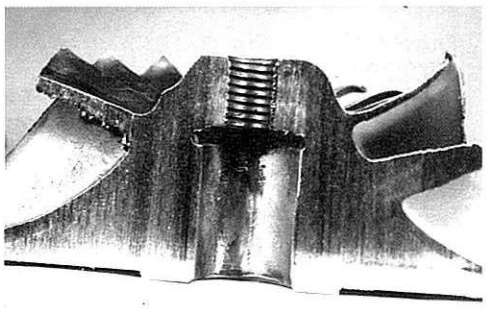


Fig. 5a

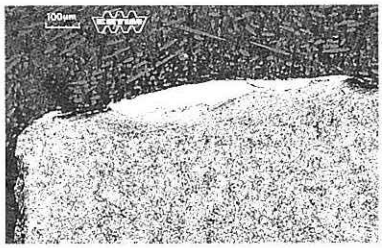


Fig. 6
Attaque Nital

Commentaires

Cause de l'avarie	Remèdes
• Initiation et propagation d'une fissure de fatigue depuis une arête vive du fond d'une entaille du trigône, en flexion rotative/torsion gauche. • Qualité et stabilité dans le temps de l'ajustement trigône/logement de roue médiocre car usure par petits débattements (fretting).	• Éviter les arêtes vives en fond d'entailles du trigône. • Reconcevoir l'assemblage arbre-roue pour : – minimiser la composante de torsion au niveau des fonds d'entailles ; – assurer une portée uniforme des surfaces en contact. • Diminuer le niveau vibratoire général pour éviter l'usure par petits débattements.

Arbre-manivelle

par J.-J. Guérin, G. Baratto, J. Mongis
(CETIM, Établissement de Senlis)
avec l'aimable autorisation
de *Shell-Française S.A.*

Nature de l'avarie

Après 25 000 heures de fonctionnement sans problème, étalées sur 20 ans, un arbre-manivelle de machine alternative s'est rompu du côté de son extrémité motrice, au niveau d'un volant d'inertie en fonte, fretté sur une soie conique (**Fig. 1**).

Matière

L'arbre a été réalisé en acier non allié à moyenne teneur en carbone mais on ne nous a pas précisé le niveau requis de caractéristiques mécaniques.

Conditions de fonctionnement

L'arbre est entraîné en rotation par un motoréducteur situé du côté du volant en fonte. Il est soumis à une torsion à droite et tourne toujours dans le même sens à vitesse constante. La machine concernée travaillait en extérieur, sous un toit, en milieu industriel, et son fonctionnement générait normalement un niveau vibratoire important.

Analyse morphologique

La rupture s'est développée au voisinage de l'extrémité de la rainure de la clavette solidarisant, en rotation, le volant à l'arbre (**Fig. 1**). Elle est globalement plane et normale à l'axe de révolution mais on constate l'existence d'une fissuration inclinée à 27° (AA, **Fig. 2**) au droit de la fin de la rainure de clavette. C'est l'indice de l'influence de la torsion à droite de l'arbre sur le développement de cette fissure, et d'une certaine flexion.

En vue de face (**Fig. 3**) on constate que la surface inclinée AA est une zone soyeuse de propagation en FATIGUE « F » amorcée, en tout début de propagation, selon un petit plan « N », normal à un flanc de la rainure de clavette (**Fig. 4**) donc développé en FLEXION ROTATIVE.

Enfin, il faut insister sur les importantes **dégradations de la surface** de la soie conique en fin de portée de volant, côté rupture (zone b, **Fig. 2**). Elles présentent un relief très accidenté et un aspect oxydé brun-rouge.

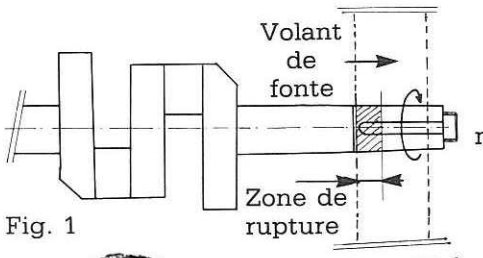


Fig. 1

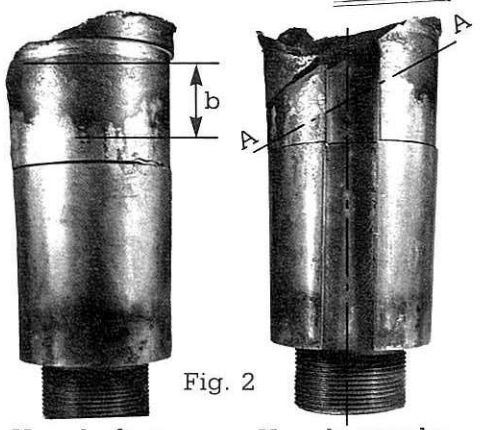


Fig. 2

Vue de face Vue de gauche

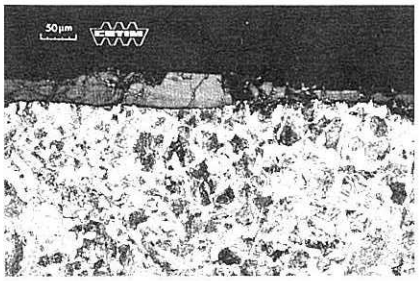


Fig. 5 (attaque Nital)

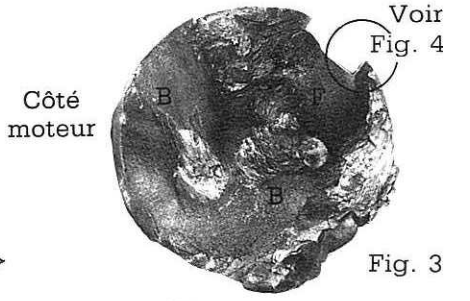


Fig. 3

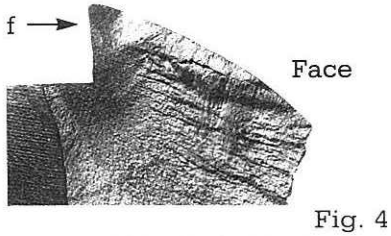
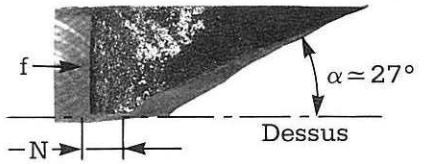


Fig. 4



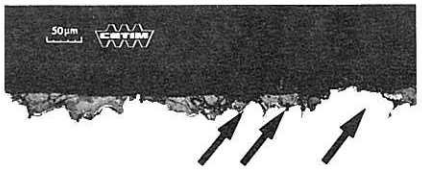


Fig.6 (état poli)

Examens complémentaires

Étude micrographique :

Sur une coupe normale à l'axe et passant au travers des dégradations de la zone « b » on relève, en surface, une couche d'oxydes de 50 μm d'épaisseur. En dessous la structure de l'acier est sans anomalie et typique d'un acier de construction non allié à l'état normalisé (**Fig. 5**).

Sur une coupe méridienne réalisée juste au-dessous du flanc « f » de la rainure de clavette on note aussi cette oxydation mais avec des fissures pénétrantes, parallèles au plan de rupture N (**Fig. 6**).

Ces altérations sont typiques de Fretting-Corrosion.

Commentaires

Cause de l'avarie	Remèdes
L'avarie résulte de l'inadéquation entre : • le niveau des contraintes de flexion rotative engendrées en service au niveau des arêtes de la rainure de clavette, • et la limite de fatigue de l'acier, fortement altérée en surface du fait de processus d'usure par petits débattements (ou Fretting-Corrosion) imputables à un ajustement insuffisant du volant sur l'arbre par rapport au niveau vibratoire général.	• Vérifier l'accouplement arbre/motoréducteur pour minimiser la flexion rotative. • Diminuer le niveau vibratoire général. • Améliorer la qualité d'ajustement arbre/volant et traiter les surfaces en contact avant montage (lubrifiant, grenaillage ou dépôts adaptés...).

Carter en alliage d'aluminium

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

Nature de l'avarie

Dégradation du plan de joint de fermeture d'un carter de multiplicateur, constatée lors d'un démontage.

Matière

Les deux parties de ce carter sont en alliage d'Aluminium-Silicium de nuance AS7G et sont issues de fonderie.

Conditions de fonctionnement

Les deux parties du carter sont assemblées par une série de goujons traversants. En service l'ensemble est soumis à des vibrations de faible amplitude.

Analyse morphologique

Les dégradations, localisées autour des trous de passage des goujons, se traduisent par une cratérisation du carter le plus massif et une surépaisseur de matière sur le carter le plus mince. Les zones dégradées sont relativement matées (**Fig. 1** et **2**).

Examens complémentaires

Des examens micrographiques réalisés au travers des deux parties antagonistes d'une zone dégradée (coupes A et A' sur **Fig. 2**) montrent :

- un transfert de métal du carter le plus massif sur le carter le plus mince (**Fig. 3**) avec déformation plastique importante du métal transféré
- l'absence de déformation plastique dans la zone dégradée du carter massif (**Fig. 4**)
- une structure à gros cristaux de silicium sur le carter massif indiquant que l'alliage n'a pas été « modifié » contrairement à celui du carter plus mince présentant une structure bien « modifiée ».

Des mesures de microduretés confirment la déformation plastique du métal transféré, qui est notablement plus dur.

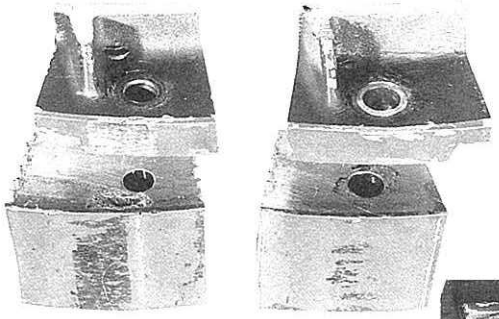


Fig. 1

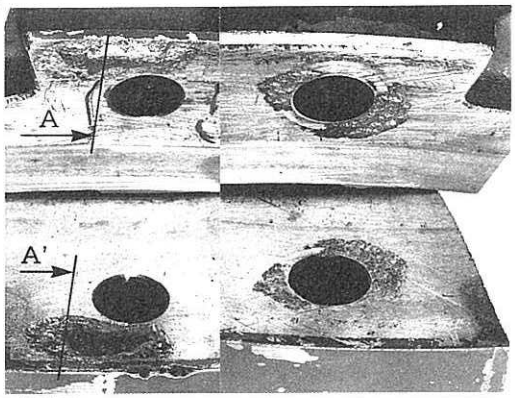


Fig. 2

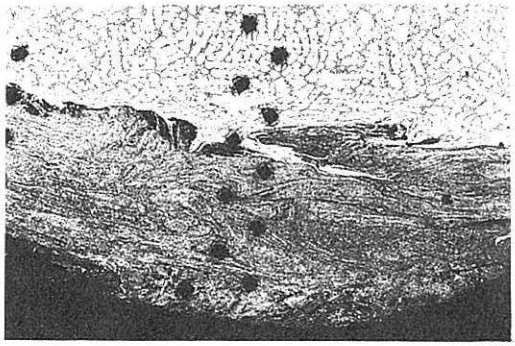


Fig. 3

X 12 Attaque HF 5 %

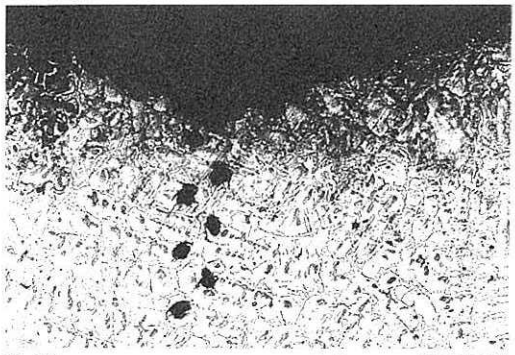


Fig. 4

X 31 Attaque HF 5 %

Commentaires

Cause de l'avarie	Remèdes
• Les dégradations sont caractéristiques d'un phénomène d'usure par petits débattements (ou fretting). • Le transfert de métal s'est produit à partir du métal le plus fragile suivant vraisemblablement un processus de fatigue superficielle de contact, sous l'effet répété des sollicitations engendrées par les vibrations auxquelles est soumis le carter.	• Limiter autant que possible les vibrations. • Assurer un serrage correct des goujons de façon à filtrer les sollicitations de fatigue de contact. • Améliorer la qualité métallurgique du carter massif en assurant la « modification » de l'alliage AS7G par traitement au sodium de l'alliage liquide avant moulage.