

Tirant de palier

par J.J. Guérin, G. Baratto,
J. Mongis

(CETIM, Etablissement de Senlis)

Nature de l'avarie

Rupture en service d'un tirant de palier de $\varnothing 56$, au niveau de son extrémité, après deux ans de travail dans des conditions normales de fonctionnement et sur une machine habituellement sans problème (fig. 1).

Matière

L'acier mis en œuvre pour la réalisation de ce tirant ne nous a pas été précisé. On sait seulement que ses caractéristiques mécaniques doivent satisfaire celles qui sont requises pour la boulonnerie de classe 12-9 (NFE 25-100):

$R_m > 1220 \text{ N/mm}^2$,

$R_p 0,2 > 1100 \text{ N/mm}^2$, $A_5 > 8 \%$

Conditions de fonctionnement

Au montage, le tirant est soumis à une tension initiale de 65 t, générant une contrainte de traction nominale de l'ordre de 300 N/mm^2 au niveau du filetage. En service il s'y ajoute des composantes cycliques de flexion – la plupart du temps dans un seul sens – et de compression.

Analyse morphologique

Le plan de rupture est normal à l'axe du tirant. Son faciès présente deux zones soyeuses diamétralement opposées et marquées de fines lignes parallèles. Ce sont des zones de propagation en fatigue (F1 et F2, fig. 2) dont les amorces multiples (A) se concentrent en fond de filet. On peut en déduire qu'elles se sont initiées et développées sous l'effet de contraintes incluant de la flexion alternée, au moins à partir d'un certain stade.

La zone de rupture finale brutale (B) est de surface limitée. Cela montre que la tension initiale a disparu du fait de la fissuration du tirant et des plastifications associées.

Enfin, l'examen visuel du filetage (fig. 3) a révélé que les amorces A sont en relation directe avec les stries d'usinage, assez grossières.



Fig. 1

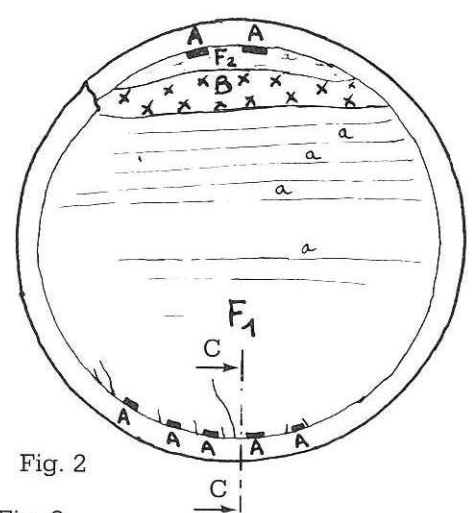


Fig. 2



Fig. 3

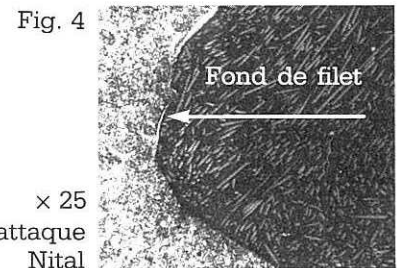
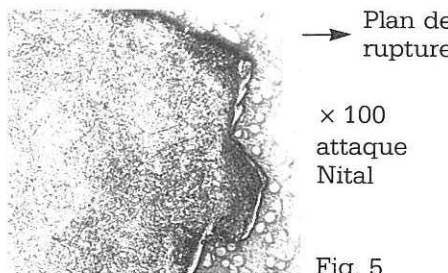


Fig. 4



→ Plan de rupture

x 100
attaque
Nital

Fig. 5

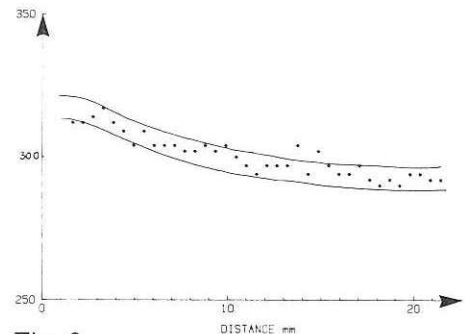


Fig. 6

Examens complémentaires

Essais de traction

On a mesuré $R_m \approx 1000 \text{ N/mm}^2$, $R_p 0,2 \approx 830 \text{ N/mm}^2$, $A \approx 15 \%$ et on a confirmé par essais de dureté (fig. 6) que ce faible niveau de résistance concernait toute la section.

Commentaires

Examens micrographiques

La coupe CC (fig. 2) révèle des retrempe superficielles localisées et de replis en fond de filet, imputables aux médiocres conditions d'usinage de l'acier à l'état trempé-revenu (fig. 4 et 5).

Causes de l'avarie	Remèdes
• Résistance de l'acier non conforme au cahier des charges. • Qualité d'usinage du filet très médiocre, génératrice de concentrations de contraintes et de tensions résiduelles néfastes. • Travail en flexion alternée suggérant un montage incorrect.	• S'assurer du respect du niveau de résistance exigé. • Soigner l'usinage du filetage. Le réaliser éventuellement par roulage avant traitement thermique. • Examiner les conditions de montage et de fonctionnement du tirant pour le faire travailler en traction/compression seulement.

Amortisseur de tampon de wagon

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

Nature de l'avarie

Rupture de l'amortisseur lors d'un essai d'épreuve.

Matière

L'amortisseur est réalisé en acier 42CD4 (NFA 35-552).

Il subit, après usinage, un traitement thermique de durcissement par trempe et revenu dans les conditions suivantes :

- préchauffe 500 °C : 1 h 30 ;
- austénitisation 800 °C : 2 h ;
- trempe huile ;
- revenu 520 °C - 540 °C : 1 h 30.

La dureté visée est de 330 HB.

Conditions de fonctionnement

La rupture s'est produite lors d'un essai d'épreuve hydraulique engendrant des contraintes de traction tangentielle dans le voile tubulaire de la pièce.

Analyse morphologique

Le faciès de rupture (fig. 1) présente les caractères des ruptures semi-fragiles. On observe en effet, sur le plan de cassure, des chevrons et des pseudo-chevrons qui convergent vers la zone d'amorçage A. Ce mode de destruction est cohérent avec le type de sollicitation enduré.

La zone A est profonde, nettement limitée et oxydée. Elle est vraisemblablement la conséquence d'un phénomène de tapure lors de la trempe de la pièce. Sa coloration brune serait, dès lors, due à l'oxydation provoquée par le revenu.

Examens complémentaires

Examen magnétoscopique

Cet examen, réalisé sous lumière ultraviolette, a mis en évidence de nombreux défauts alignés dans le sens long de la pièce. Ils sont présents sur une bande d'environ 20 mm (fig. 2) et vraisemblablement liés au problème de rupture.

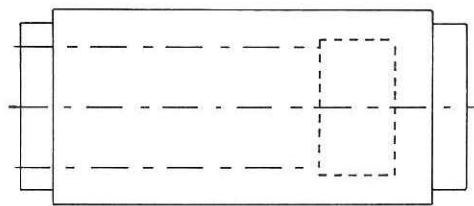


Fig. 1
Croquis de la pièce

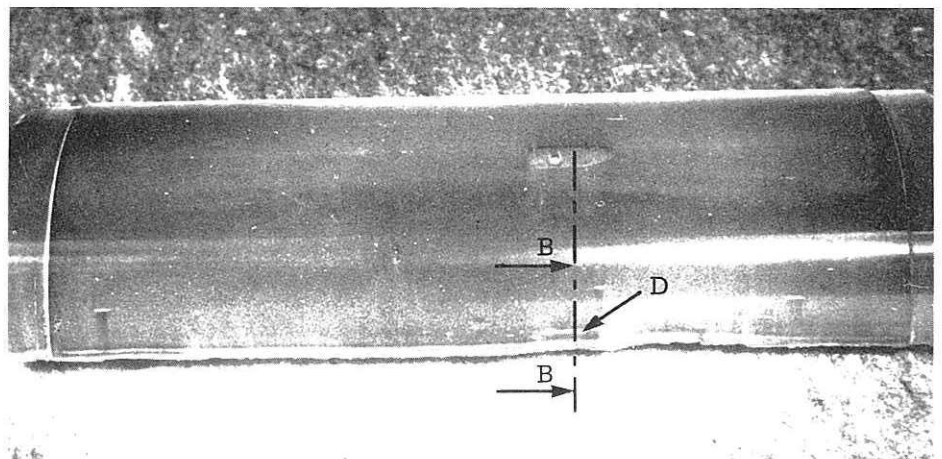
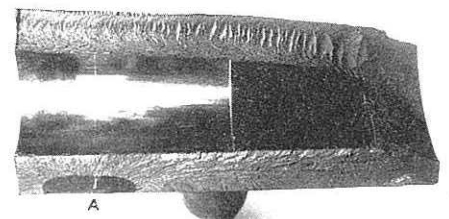


Fig. 2

Fig. 3

× 350
attaque Nital



Examen micrographique

Au droit d'un défaut D, la coupe BB révèle une fissuration dont les lèvres comportent de nombreuses inclusions d'oxyde. Sa profondeur maximale est de l'ordre de 0,5 mm.

Après attaque Nital, on peut noter (fig. 3) que les lèvres de la fissure sont décarburrées alors que les surfaces de la pièce non

reprises par usinage après traitement thermique ne présentent pas ce phénomène. Cela permet de dire que la fissuration existait avant les traitements de trempe et de revenu.

La structure à cœur est composée de martensite revenue de dureté 310 HB. Il n'y a donc pas d'anomalie à cet égard.

Commentaires

Causes de l'avarie	Remèdes
• Présence de défauts ayant donné naissance à des tapures lors de la trempe de la pièce. • Ces défauts ont été formés à chaud, sous atmosphère oxydante et décarbure. Ce sont des replis de laminage ou de forgeage.	• Contrôler les barres à l'état réception de manière à éliminer celles qui présentent des défauts.

Arbre de roue

par J.J. Guérin, G. Baratto,
J. Mongis

(CETIM, Etablissement de Senlis)

Nature de l'avarie

Rupture d'un arbre de roue de machine agricole au cours d'essais de mises en charge cycliques. Aucune défaillance ne devait être observée mais ici l'avarie s'est produite au bout de 48 000 cycles.

Matière

L'arbre a été réalisé en acier 42CD4 (NFA 35-563). Il a été usiné à partir d'un Ø 100 brut de laminage recuit chez l'usineur puis durci sur 8 mm de profondeur par trempe après chauffage superficiel par induction.

Conditions de fonctionnement

Au cours de l'essai, l'arbre a été sollicité en torsion alternée. Il était maintenu par ses cannelures «Ca» (fig. 1) et la charge a été appliquée sur le clavetage «Cl».

Analyse morphologique

La position de la rupture est inhabituelle : elle se situe au niveau d'une section purement circulaire («R», fig. 1 et 2) alors qu'habituellement – en cas de surcharge – elle affecte la longueur clavetée «Cl».

Sa géométrie, hélicoïdale, témoigne bien de l'action d'une contrainte de torsion au moment de la rupture brutale finale de l'arbre. Son faciès, enfin, laisse apparaître – outre une zone centrale de rupture à caractère brutal semi-fragile (B) – deux zones de fissuration progressive par fatigue F1 et F2, opposées, situées à mi-rayon et inclinées à 45° environ sur l'axe de révolution ainsi qu'une zone corticale à grain fin imputable à la présence du traitement superficiel (TS).

Tout cela est cohérent avec le mode de sollicitation de l'arbre et, a priori, sa conception qui fait que les zones les moins résistantes à la fatigue sont en sous-couche.

Examens complémentaires

• L'examen soigneux des amorces A1 et A2 à la loupe binoculaire (fig. 4) montre qu'elles sont constituées de plans de décohé- sion longitudinaux qui sont présents dans tout le cœur de l'arbre.

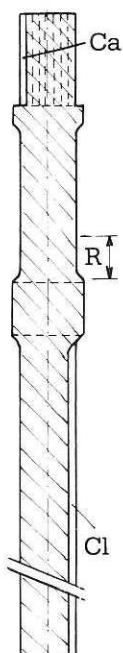


Fig. 1

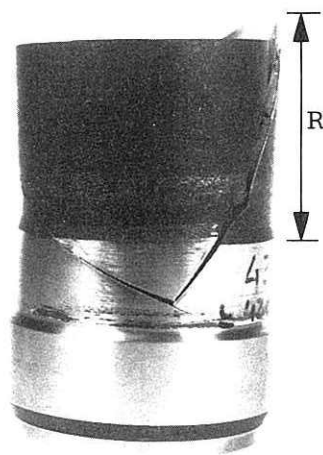


Fig. 2

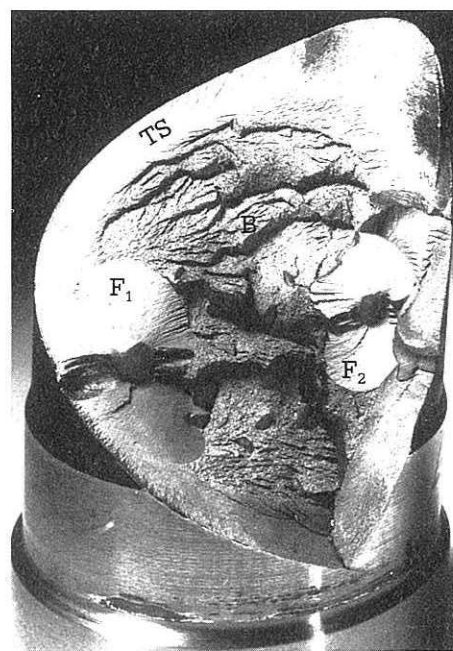


Fig. 3



Fig. 4

× 2,3 environ

Leur aspect est bien décrit dans la littérature : il s'agit de flocons d'hydrogène imputables aux conditions d'élaboration de l'acier à l'état liquide.

• Le contrôle aux ultrasons de l'arbre a conduit à l'observation de nombreux échos de forte intensité suggérant la présence de décohé- sions internes sur toute sa longueur.

Commentaires

Causes de l'avarie	Remèdes
Utilisation d'un acier insuffisamment dégazé par l'aciériste et présentant des décohé- sions internes («flocons»).	Imposer un contrôle des barres aux ultrasons avant livraison, pour éliminer les longueurs défectueuses.

Corps de piston

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

Nature de l'avarie

Rupture en service d'un corps de piston de $\varnothing$ 180 extérieur et $\varnothing$ 70 intérieur après un nombre de montées en pression très réduit.

Matière

Ce corps a été réalisé en acier inoxydable martensitique Z15CN16-02 de la norme NFA 35-574, à partir d'un rond forgé durci par trempe et revenu pour une résistance $R_m \approx 960$ MPa. Le trou central a été obtenu par forage.

Conditions de fonctionnement

L'eau contenue dans le piston a subi le cycle suivant:

- 19000 montées en pression à 2000 bar, environ;
- une dizaine de montées à 2800 bar.

La fissuration s'est déclenchée inopinément au cours de la deuxième phase.

Analyse morphologique

La fissure débouche au niveau de la sortie S du piston, où ses lèvres sont par ailleurs plus écartées (fig. 1). Par sciage au niveau du filetage d'extrémité, on a pu observer le faciès des lèvres de la fissure (fig. 2). Il présente, de façon générale, les caractères d'une rupture semi-fragile amorcée au fond du forage où on constate une zone annulaire de largeur «e», d'aspect soyeux, débouchant au niveau du rayon de raccordement fond/paroi «r» (fig. 3). Il y a donc eu, au départ, fissuration en fatigue en cet endroit sous l'effet des contraintes de «gonflement» subies en service.

Examens complémentaires

Analyse chimique

Conforme aux spécifications de la norme mais teneur maximum en chrome et minimum en nickel.

Essais de traction

$R_m = 880$ N/mm², déficitaire de 8 % par rapport au cahier des charges.

Examens micrographiques

On a relevé l'acuité du rayon de raccor-

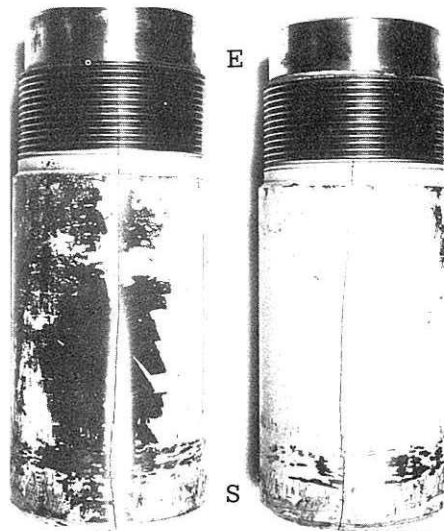


Fig. 1

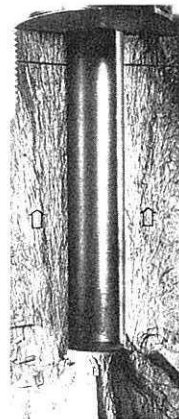


Fig. 2

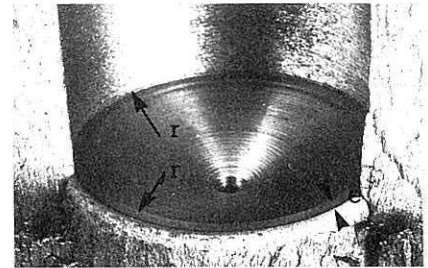


Fig. 3

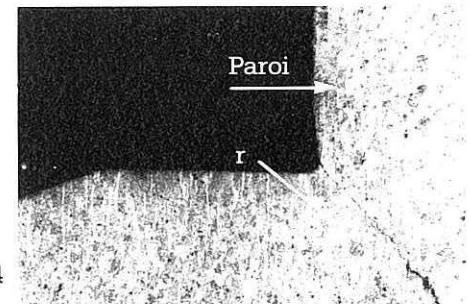


Fig. 4
× 14 env.

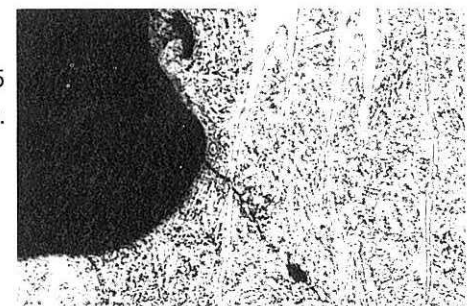


Fig. 5
× 150 env.

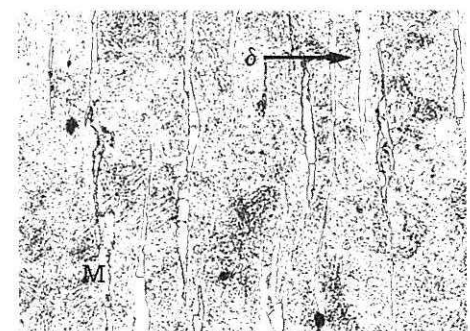


Fig. 6
× 75 env.
toutes attaques Vilella.

dement «r» et la mauvaise qualité de l'usinage des parois du trou foré (fig. 4 et 5). Une fissuration débouche toujours dans ce rayon. La structure de l'acier, enfin, contient une grande quantité de ferrite δ , moins résistante que la matrice martensitique «M». Elle est imputable au déséquilibre entre les teneurs en chrome et en nickel qui, bien que conformes, n'ont pas autorisé l'austénitisation complète de l'acier avant trempe.

Commentaires

Causes de l'avarie	Remèdes
Inadéquation entre le niveau des contraintes engendrées au niveau du rayon de raccordement du fond du forage et la limite d'endurance de l'acier, ayant provoqué un phénomène de fatigue oligocyclique (à faible nombre de cycles).	• Reconcevoir la géométrie du fond du forage. • Augmenter le rayon de raccordement. • Améliorer la qualité d'usinage. • S'assurer de la réponse aux traitements thermiques de l'acier: - par ajustement de sa composition; - par contrôle de résistance sur éprouvettes.