

Tube de liaison

Par J.-J. Guérin, G. Baratto, J. Mongis

(CETIM, Etablissement de Senlis)

Nature de l'avarie

Rupture en service d'un tube de liaison mécano-soudé supportant une machine tournante, après 1 000 heures de fonctionnement.

Matière

Le tube est réalisé en acier inoxydable austénitique Z1 NCDU 25-20, de même que la collerette supérieure C et les quatre raidisseurs partiels Rp. Les soudures ont été faites avec le même métal d'apport qui relève de la norme NFA 35-584 (fig. 1).

Conditions de fonctionnement

Le tube est soumis au poids de la machine tournante, aux vibrations qu'elle engendre mais aussi à des oscillations de direction et d'amplitude mal connues. Enfin l'ensemble doit résister à une atmosphère hautement corrosive d'où le choix d'une nuance d'acier fortement alliée.

Analyse morphologique

Le tube est rompu à sa partie supérieure et la fissuration affecte la presque totalité de son voile au niveau du bout des raidisseurs (fig. 2a et 2b). Son parcours est développé sur la figure 3. On voit qu'elle est en fait constituée de plusieurs fissures qui se rencontrent aux points a, b, c et qui passent très exactement par l'extrémité des raidisseurs, côté tube.

L'examen macrographique du point A₁, au niveau du raidisseur repéré 1, révèle qu'elles résultent d'un phénomène de fatigue : leurs lèvres sont marquées de lignes courbes typiques qui sont les lignes « d'arrêt » de la *fissuration progressive* et leurs amorces se situent *précisément* au bout des raidisseurs (fig. 4a et b).

D'après les règles concernant la séquence de formation d'une jonction en « T » de deux fissures, on peut en déduire la chronologie de développement donnée figures 5. Elle suggère, on le voit, des amorçages et/ou des vitesses de propagation plus rapides au voisinage des raidisseurs 1 et 2.

Le tube a donc péri sous l'effet de contraintes de flexion alternée dont une alternance était plus forte que l'autre et dont la direction passait au voisinage du diamètre de fixation des raidisseurs 1 et 3.

Examens complémentaires

On n'a noté aucune trace de corrosion sur le tube et les examens micrographiques pratiqués au niveau des amorces n'ont pas révélé d'anomalie.

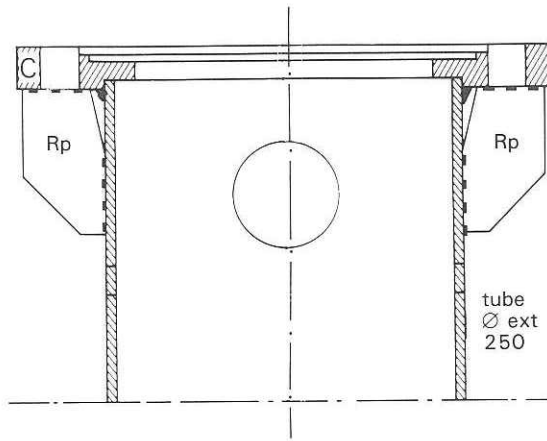


Fig. 1.

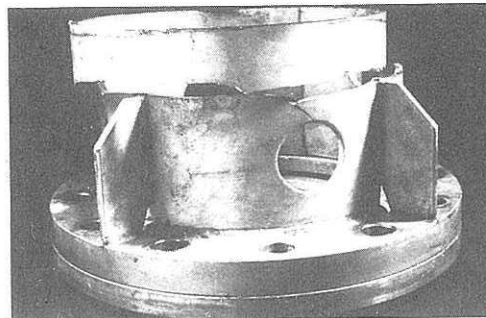


Fig. 2 a.

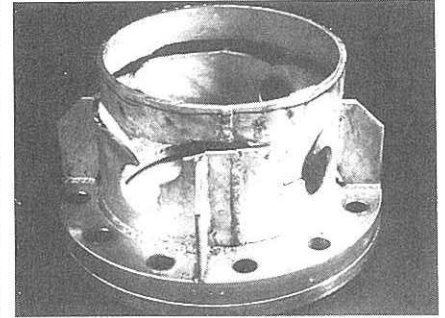


Fig. 2 b.

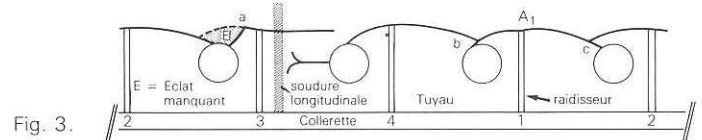


Fig. 3.

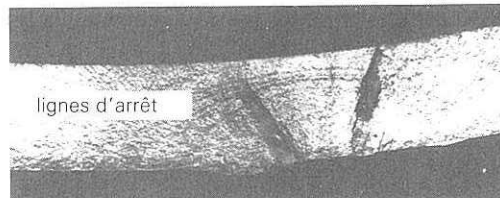


Fig. 4 a.

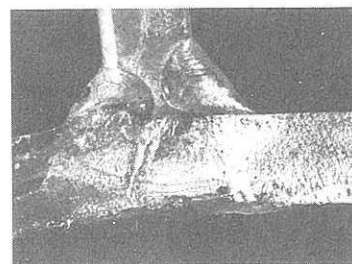


Fig. 4 b.

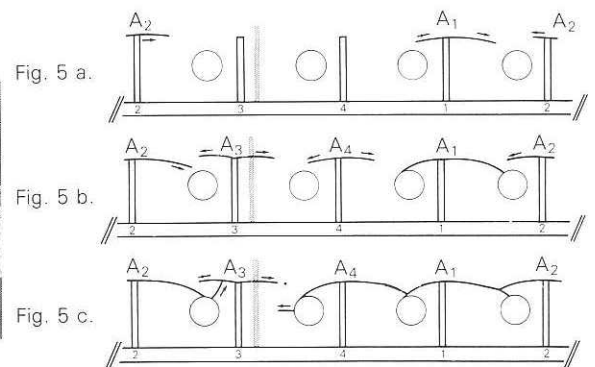


Fig. 5 a.

Fig. 5 b.

Fig. 5 c.

Fig. 5 c.

Commentaires

Causes de l'avarie	Remèdes
Développement de fissures de fatigue en extrémité des raidisseurs partiels « Rp » sous l'effet de contraintes de flexion alternée mal estimées et amplifiées par l'effet d'entaille au bout des raidisseurs.	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnostiquer la source des contraintes de flexion dirigées selon les raidisseurs 1-3 et éventuellement, les réduire. • Modifier la conception des raidisseurs pour éviter les effets de concentrations de contrainte à leur extrémité. Augmenter l'épaisseur des tôles mises en œuvre.

Tourteau d'entraînement

par P. Filipucci

(CETIM, Etablissement de Saint-Etienne)

Nature de l'avarie

Rupture de fatigue d'un tourteau d'entraînement dont les trous de fixation ont été remis à la cote par rechargement.

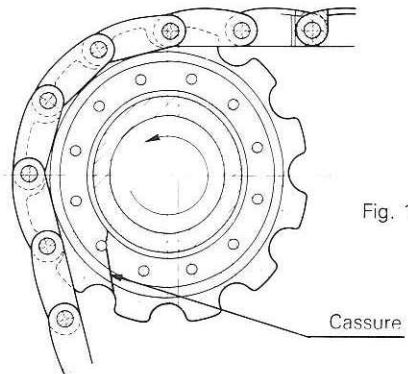
Conditions de fonctionnement

Contraintes de traction lors de l'engrènement de la chaîne sur les dents du tourteau.

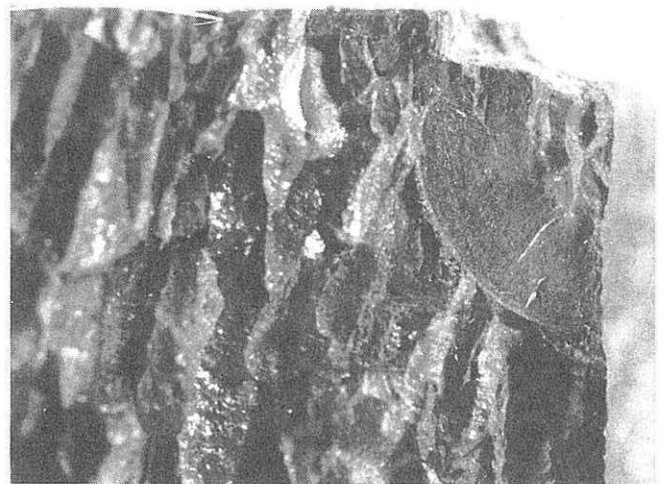
Matière

Acier moulé du type GS 70 Cr - Ni - Mo 8-6-3 (désignation norme DIN et correspondant à la dénomination AFNOR non normalisée 70 CND 8).

Eléments (%)	Composition du tourteau
C	0,75
Mn	0,79
Si	0,88
S	0,035
P	0,031
Ni	0,63
Cr	1,91
Mo	0,29
Al	0,20



(x 6)
Fig. 2

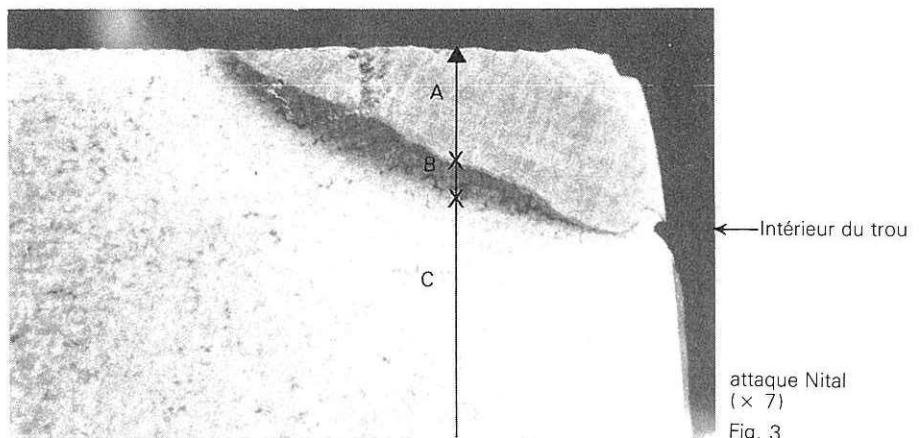


Analyse morphologique de la cassure

L'aspect de la cassure est caractéristique d'une fissuration progressive sous contraintes cycliques.

La présence d'une zone d'aspect soyeux de faible étendue avec lignes d'arrêt permet de localiser l'amorce à l'intérieur d'un trou de fixation et d'entraînement du tourteau. Après l'amorçage de la fissuration en fatigue, la pièce s'est rompue brutalement (fig. 1 et 2).

Il est intéressant de noter que l'intérieur du trou présente un mauvais état de surface.



attaque Nital (x 7)
Fig. 3

- une zone B de dureté 600 HV 0,5 correspondant à la zone thermiquement affectée,
- une zone C de dureté 250 HV 0,5 correspondant au métal de base.

Examen micrographique

La structure de l'acier dans la zone C est composée de perlite globulisée exempte de défaut. Dans les zones A et B, elle est composée de martensite.

Examens complémentaires

Examen macrographique

Une coupe perpendiculaire à l'axe du trou et parallèle au plan de la cassure montre l'influence du rechargement sur la structure. Sur la figure 3, on distingue trois zones distinctes :

- une zone A de dureté 420 HV 0,5 formée du métal du rechargement et correspondant à la zone fondue,

Commentaires

Causes	Remèdes
<ul style="list-style-type: none"> - Présence de contraintes de traction engendrées par une trempe sous cordon lors du rechargement (trempe facilitée par la trempabilité élevée de l'acier de base). - Les contraintes de traction en s'ajoutant aux contraintes de service ont favorisé l'amorçage de la rupture en fatigue. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eviter le rechargement par soudure si cela est possible. - Réaliser un rechargement ductile d'abord avec un cordon d'Inconel puis avec un matériau plus résistant si nécessaire. - Procéder à cette opération avec un léger préchauffage de la pièce suivi d'un refroidissement lent et d'un traitement de détensionnement.

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. $R_m \approx 680 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$, $R_e \approx 610 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$ (structure visualisée en ⑤).

Conditions de fonctionnement

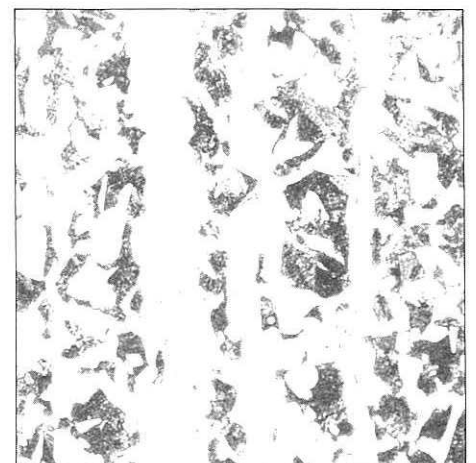
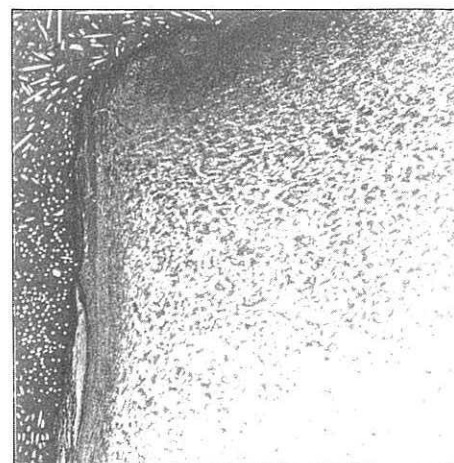
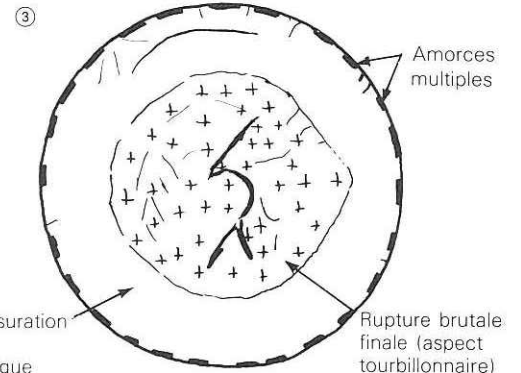
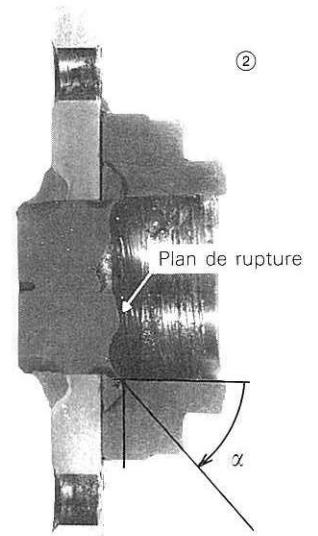
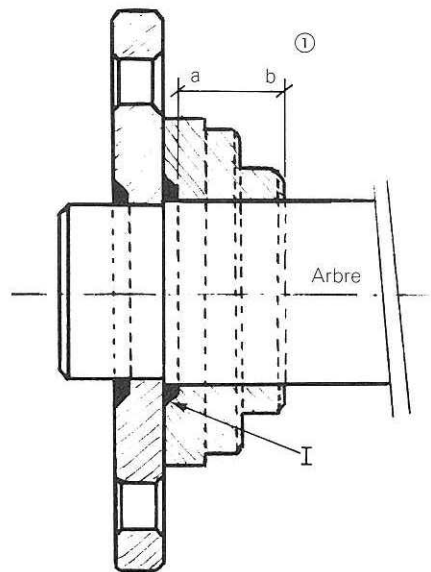
Sollicitations combinées de torsion et de flexion rotative avec, sur les machines incriminées, des surcharges accidentelles dues à des mauvais réglages de sécurités.

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.