# Vis M24 × 170 de classe 12.9

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

## Nature de l'avarie

Sur un lot de vis M24 × 170 ayant servi au montage d'une couronne dentée on a constaté de nombreuses ruptures différées, de 6 à 8 heures après leur serrage. Par la suite elles ont été remplacées par des vis de même qualité mais d'un autre lot, sans nouveau problème.

## Matière

Ces vis en acier ont été approvisionnées auprès d'un revendeur, la classe de qualité requise étant la classe 12.9 selon la norme NFE 25-100. Leur aspect était grenaillé et brunâtre.

## Conditions de fonctionnement

Les vis ont été serrées, au départ, à la clé dynamométrique pour un couple Co ≃ 108 daN.m. Pour un coefficient de frottement de l'ordre de 0,15 la contrainte moyenne introduite dans la vis s'élève à 80 % de la limite élastique de l'acier.

## Analyse morphologique

Toutes les ruptures ou fissures observées se situent au niveau du rayon de raccordement tête-fût de la vis (fig. 1). Elles se sont produites sans déformation macroscopique visible. L'aspect du plan de décohésion se caractérise (fig. 2 et 3) par la présence de reliefs en « plumes » divergeant depuis l'extérieur de la vis (**zone P**) et d'une zone interne « à nerfs » I. Ceci suggère une avancée progressive de fissures vers le cœur de la vis, sous les seuls effets de la tension de la vis et de la concentration de contraintes au droit du rayon.

## Examens complémentaires

• On a montré, par microfractographie, une décohésion intergranulaire fragile en zone P (fig. 4) et ductile, à cœur (fig. 5).

• Sur éprouvettes on a mesuré Rm ≃ 1240 MPa, Rp 0,2 ≃ 1180 MPa, A ≃ 12 %, KCV ≃ 57J/cm². Ces valeurs sont parfaitement compatibles avec la classe de qualité 12.9.

• La solidité de la tête s'est enfin révélée satisfaisante, sur des vis du même lot, neuves, au cours d'essais de traction rapide avec CALE BIAISE.

Fig. 1

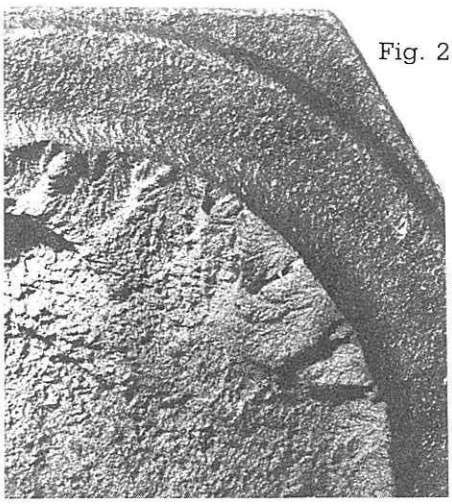


Fig. 2

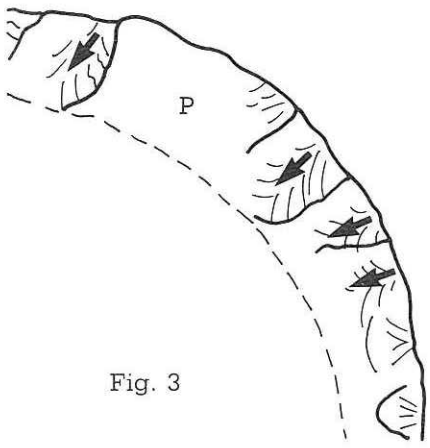
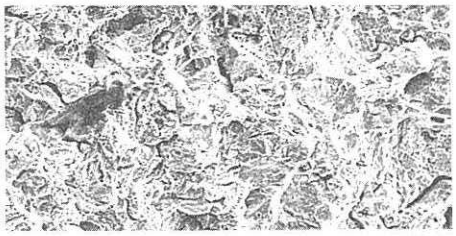


Fig. 3


× 250

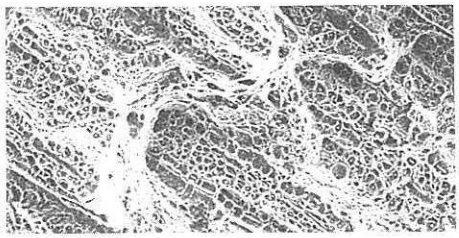


Fig. 5 × 380

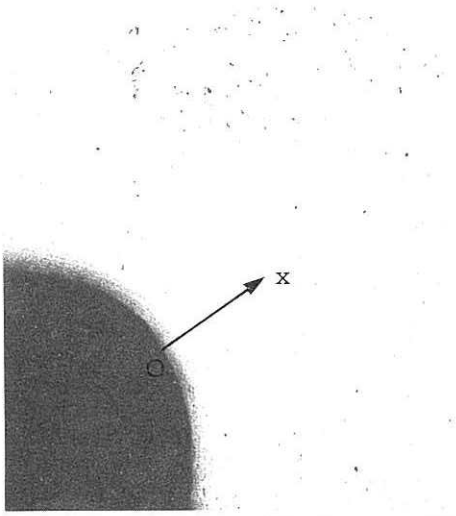


Fig. 6 Attaque Nital ×15

• Par micrographie il s'est avéré que les lignes de forgeage suivaient bien le rayon incriminé (fig. 6), que la structure de l'acier était martensitique et sans anomalie.

## Commentaires

| Cause de l'avarie | Remèdes |
|---|---|
| • Il est vraisemblable que les ruptures résultent d'une fragilisation de l'acier par de l'hydrogène provenant de traitements de surface ou de décapage pratiqués après le traitement de durcissement par trempe de l'acier. | • S'assurer que les vis de cette classe ont bien subi des traitements de dégazage adéquats avant et après traitements de surface ou de décapage, le cas échéant, selon les recommandations de la norme NFA 91-102. |

# Coudes d'économiseur de chaudière

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

## Nature de l'avarie

Fissurations en service de six coudes de liaison d'économiseur de chaudière et fuite de l'eau de circulation interne, après un an de fonctionnement.

## Matière

Les coudes ont été réalisés à partir de tubes TU 15 CD 2-05 F1, selon NF A 49-213, c'est-à-dire livrés finis à froid puis recuits (900 °C air et revenu à 650 °C). Ils ont été cintrés à froid et mis en œuvre en l'état.

## Conditions de fonctionnement

Les coudes incriminés étaient hors fumées et l'eau de circulation, de qualité chaudière, était surchauffée vers 170 °C. A noter que des aciers non alliés (TU 37 C) donnaient satisfaction, dans le passé, dans ces mêmes conditions de cintrage et de service.

## Analyse morphologique

Les multiples fissures qui affectent les coudes avariés se situent dans la région cintrée à froid (fig. 1). Elles sont inclinées par rapport aux génératrices du tore, ce qui suggère qu'elles se sont développées sous l'effet de contraintes de torsion à droite et à gauche. Leur ouverture révèle (fig. 2) que leurs lèvres sont marquées de reliefs convergeant toujours vers l'intérieur du tube : les amorçages sont donc situés côté EAU. Enfin, on n'a pas constaté de pertes d'épaisseur notables.

## Examens complémentaires

• **Examen macrographique** : on a constaté, à l'intérieur du tube seulement, une couche de produits de corrosion sur 25 à 50 $\mu$m, ce qui ne paraît pas anormal (fig. 3). En revanche, on a relevé des fissurations pénétrantes ramifiées, aux lèvres oxydées (fig. 4) qui se sont révélées – après attaque métallographique au Nital – intergranulaires (fig. 5).

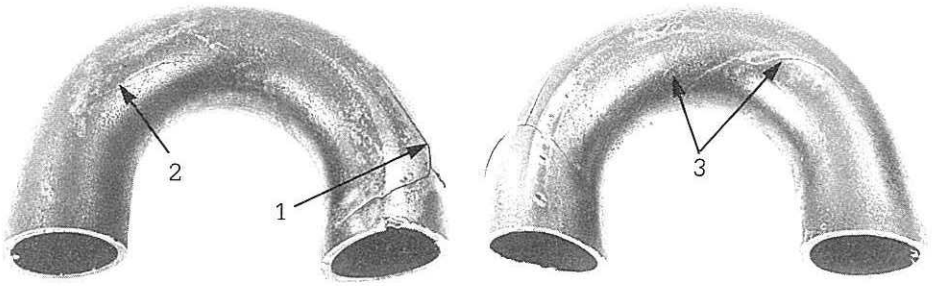



Fig. 1

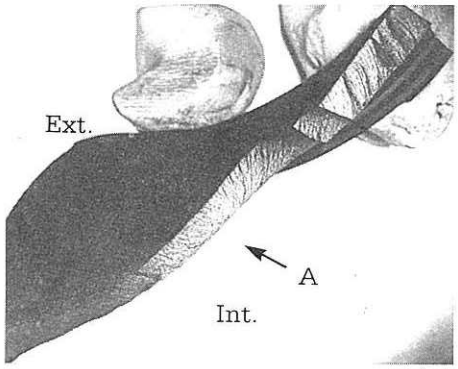



Fig. 2

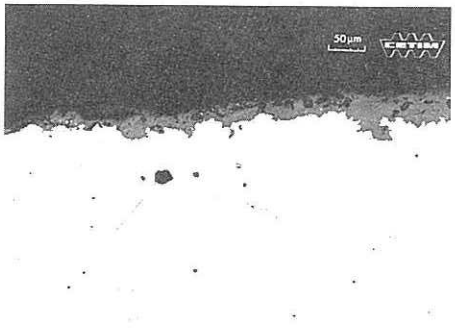



Fig. 3 × 100 État poli

Fig. 4 × 650 État poli

Fig. 5 × 650 Nital

• **Mesures de dureté** : dans la région cintrée, on a relevé une dureté de 225HV30, notablement supérieure à ce que l'on peut attendre sur la qualité de tube concernée (~ 175 HV). Le cintrage a donc notablement écroui l'acier.

## Commentaires

| Cause de l'avarie | Remèdes |
|---|---|
| • Fissurations de corrosion intergranulaire sous contraintes ou de fatigue-corrosion favorisées par les contraintes résiduelles de cintrage, la nature même de l'acier, et peut-être par des vibrations endurées en service. | • On peut conserver la nuance d'acier alliée au chrome-molybdène mais réaliser, après cintrage, un nouveau **recuit** pour éliminer les contraintes de formage.<br>• Diagnostiquer la source des vibrations éventuelles et les minimiser. |

# Marteaux à déchiqueter

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

## Nature de l'avarie

Les marteaux dont le dessin est donné en fig. 1 ont une durée de vie limitée en service, en particulier du fait de ruptures se développant au travers de leurs trous de fixation à la machine à déchiqueter.

## Matière

Pas de spécification mais on a utilisé du 55S7. Il est seulement exigé, au niveau des deux extrémités (fig. 1), un durcissement par trempe martensitique et revenu afin de minimiser leur usure dans le temps.

## Conditions de fonctionnement

En service, les marteaux sont articulés sur une tige passant au travers d'un de leurs deux trous d'extrémité. Ils sont libres autour de cet axe de rotation et subissent des coups répétés sur leur extrémité libre engendrant rotation autour de l'axe ou efforts de flexion.

## Analyse morphologique

La pièce observée (fig. 2) présente deux plans de rupture $P_1$ et $P_2$ débouchant dans le trou de fixation. $P_1$ se compose d'un plan $P_{11}$, à l'aspect oxydé, et d'un plan $P_{12}$, en biais et à l'aspect métallique. $P_2$ a un aspect soyeux ; il est de plus décoré de lignes courbes. Cela montre qu'il s'est développé en FATIGUE sous l'influence des contraintes subies en service, contrairement aux plans $P_{11}$ et $P_{12}$ qui sont vraisemblablement l'un : une tapure de trempe oxydée, l'autre : une décohésion brutale fragile.

## Examens complémentaires

• **Analyse chimique :** l'acier mis en œuvre s'est révélé être un acier au silicium 55S7 (NF 35-552) plus particulièrement destiné aux fabrications de ressorts.

• **Examen macrographique :** on a noté que la limite de la zone trempée frôlait la génératrice du trou au niveau duquel il y a eu rupture (↗, fig. 3).

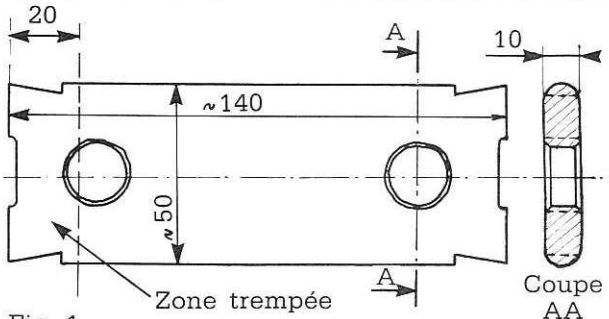


Fig. 1

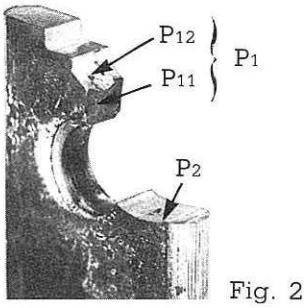


Fig. 2

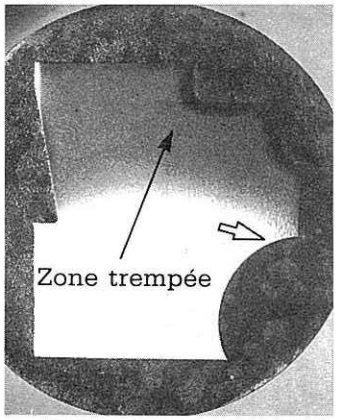


Fig. 3

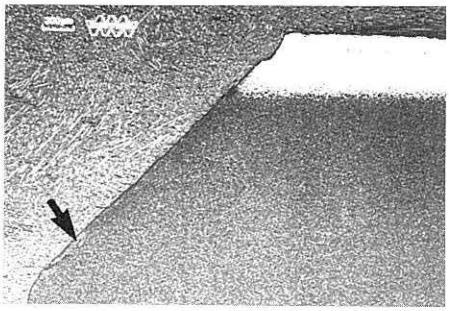


Fig. 4 Nital ×20

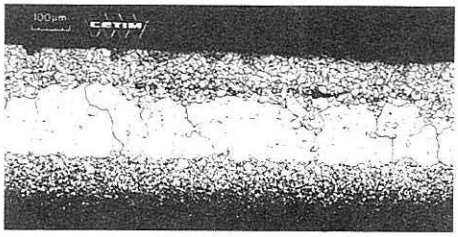


Fig. 5 Nital ×50

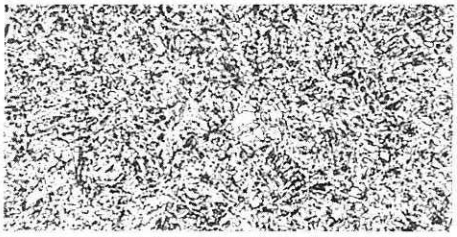


Fig. 6 Nital ×500

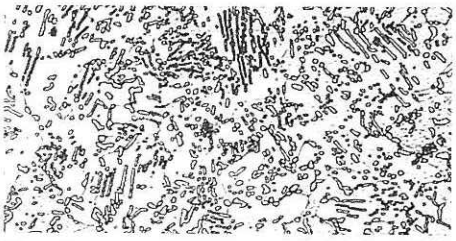


Fig. 7 Nital ×500

• **Examens micrographiques :** sur une coupe méridienne au trou on a relevé des replis d'usinage au niveau du chanfreinage du trou (↗, fig. 4) mais aussi une décarburation totale du plat du marteau sur plus de 0,4 mm (fig. 4 et 5), ce qui est considérable.

• **Mesures de dureté :** dans la zone trempée on a relevé une dureté de 630HV30, typique d'une structure martensitique brute de trempe (fig. 6), dans la zone médiane on a mesuré une dureté de 205HV30 typique d'une structure de recuit perlitique (fig. 7).

## Commentaires

| Cause de l'avarie | Remèdes |
|---|---|
| • Tapure de trempe $P_{11}$ provoquée par la décarburation superficielle de l'acier, la mauvaise qualité de l'usinage du trou et un chauffage affectant partiellement ce trou.<br>• Décohésion brutale $P_{12}$ dans le prolongement de cette tapure puis ouverture en fatigue du plan $P_2$, sous l'effet des contraintes de service. | • Utiliser un acier non décarburé superficiellement.<br>• Soigner l'usinage des trous d'extrémité.<br>• Éviter d'étendre les zones trempées jusqu'aux trous pour éviter de générer des contraintes résiduelles sur leur périphérie.<br>• Contrôler les pièces avant mise en service pour déceler les tapures de trempe. |

# Pale de ventilateur axial

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

## Nature de l'avarie

Rupture en service d'une des seize pales d'un ventilateur axial d'aspiration d'air frais, après 2200 heures de fonctionnement à 500 tr/mn, environ.

## Matière

La pale est réalisée en alliage d'aluminium A-S7G0,3 Y 23 (NF A 57-702). Il s'agit donc d'un produit coulé en sable, trempé et revenu pour Rm $\geqslant$ 240 MPa, $R_p$ 0,2 $\geqslant$ 180 MPa, A $\geqslant$ 2 %.

## Analyse morphologique

La rupture s'est produite sans déformation selon un plan perpendiculaire à l'axe de la pale, un peu au delà de sa mi-longueur (R, fig. 1). Le faciès de la rupture (fig. 2) est «à grains» et présente des dépôts noirâtres au niveau du bord d'attaque et du côté de l'extrados. Dans la région du bord de fuite (↗) on note une zone à aspect plus fibreux.

## Examens complémentaires

• **Par microfractographie** on a visualisé des stries de fissuration progressive en FATIGUE dans la zone «à grains» (fig. 3). Tout près de l'extrados on a vu des décohésions planes très lisses suggérant le tout premier stade de la propagation, par GLISSEMENTS (ou stade I) (fig. 4).

• **Par radiographie X et macrographie** des porosités allongées de classe 3 (selon ASTM E 155) ont été détectées.

• **Par micrographie** la structure de l'alliage est apparue sans défaut majeur mais on a relevé des fissures débouchant sur l'extrados, selon une géométrie bien précise liée à la CRISTALLOGRAPHIE des grains d'alliage concernés (fig. 5 et 6). C'est à rapprocher du faciès de la figure 4 : il s'agit de décohésions par fatigue.

• **Par essais de traction :** on a mesuré Rm = 250 MPa, $R_p$ 0,2 = 210 MPa, A = 5 %, ce qui est satisfaisant.

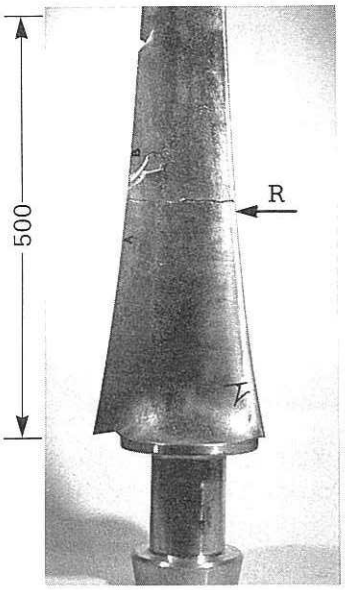


Fig. 1

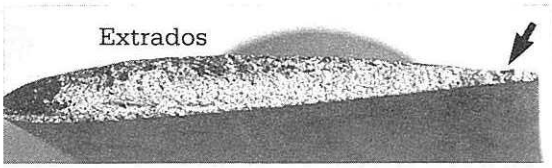


Fig. 2

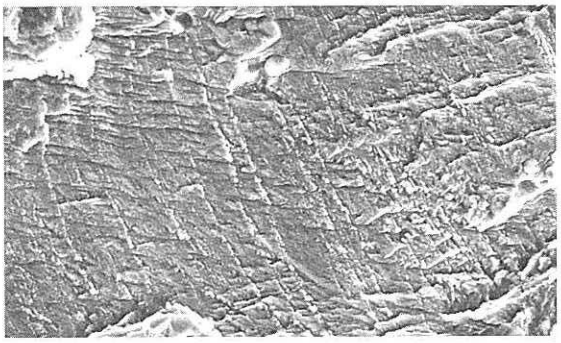


Fig. 3

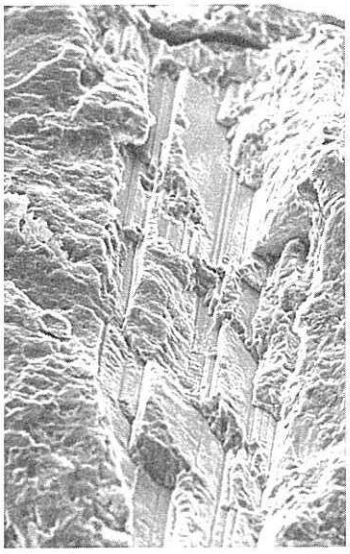


Fig. 4 ×250

Fig. 5
État poli
×110

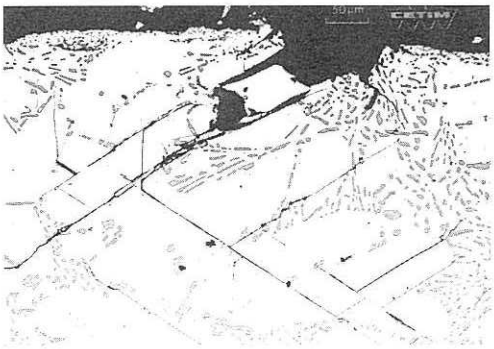


Fig. 6
État poli
×110

## Commentaires

| Cause de l'avarie | Remèdes |
|---|---|
| • Fissuration de fatigue sous l'effet de vibrations de flexion engendrées en service, éventuellement favorisée par l'action de phénomènes corrosifs plus intenses en extrados et la présence de porosités internes. | • Diagnostiquer la source des vibrations néfastes et diminuer leur intensité.<br>• Améliorer la santé interne du moulage. |