

Influence de Différents Traitements de Parachèvement sur la Tenue en Fatigue de Pièces Soudées

J.F. Flavenot, CETIM—60300—Senlis—France
M. Bramat, Institut de Soudure—75880 Paris—France

RESUME

Des essais de fatigue en flexion plane répétée ont été réalisés sur des poutres soudées en acier E 36 pour étudier l'influence de différents traitements de parachèvement sur la tenue en fatigue. Le comportement en fatigue des pièces brutes de soudage a été comparé à celui de pièces ayant subi :

- un détensionnement thermique
- un détensionnement par précharge statique
- un grenailage de précontrainte (deux intensités)
- un martelage.

Des mesures de contraintes résiduelles par rayons X ont été effectuées pour caractériser l'évolution des contraintes résiduelles introduites par chaque traitement de parachèvement. Une bonne corrélation a été observée entre la tenue en fatigue et les contraintes résiduelles. Tous les traitements appliqués qui réduisent les contraintes résiduelles de tension du soudage ou introduisent des contraintes résiduelles de compression améliorent le comportement en fatigue. C'est le grenailage et le martelage qui conduisent aux meilleurs résultats.

Mots clés : Fatigue assemblages soudés - contraintes résiduelles grenailage de précontrainte - martelage - détensionnement thermique - relaxation des contraintes résiduelles.

INTRODUCTION

Le soudage entraîne généralement la création de contraintes résiduelles de tension qui tendent à réduire notablement la résistance à la fatigue des pièces mécanosoudées. Différents traitements de parachèvement de la soudure permettent heureusement d'améliorer leur tenue en fatigue en modifiant l'état de contraintes résiduelles de la zone critique du pied du cordon.

La présente étude a pour objet de déterminer l'influence sur le comportement en fatigue de plusieurs traitements de parachèvement : détensionnement thermique, précharge statique, grenailage de précontrainte, martelage.

PIECES D'ESSAIS

Les pièces d'essais sont des poutres en caisson de longueur 1,50 m et de section de 170 X 150 mm en acier E 36 de 10 mm d'épaisseur. Les pièces sont soumises en fatigue à une flexion répétée. La semelle tendue lors de l'essai de fatigue comporte une plaque carrée de 100 X 100 mm et d'épaisseur 10 mm soudée sur son pourtour (fig. 1).

Le pied de ce cordon de soudure constitue un site privilégié pour l'amorçage des fissures de fatigue.

Les caractéristiques mécaniques de l'acier E 36 utilisé sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

R 0,02 (σ_Y) MPa	Rm (σ_u) MPa	A % (élongation)
409	509	23

Le soudage a été effectué manuellement à l'aide d'électrodes basiques.

TRAITEMENTS DE PARACHEVEMENT APPLIQUES

Les traitements de parachèvement étudiés lors de cette étude sont les suivants :

- détensionnement thermique à 575°C pendant une heure
- précharge statique en flexion quatre points avec une contrainte nominale dans la tôle correspondant à 95 % de la limite d'élasticité de l'acier
- grenailage de précontrainte sur des pièces brutes de soudage et sur des pièces détensionnées thermiquement ; deux intensités de grenailage ont été appliquées avec les conditions suivantes :

Repère du traitement	Nature de la grenaille	Repère norme SAE J 808a	Diamètre moyen des grenailles (mm)	Intensité Almen A mm (NF)	Taux de recouvrement
I1	Acier coulé	S 230	0,58	0,4 - 0,45	150 %
I2	Acier coulé	S 170	0,43	0,3 - 0,35	150 %

- martelage au pistolet pneumatique à aiguilles avec une intensité Almen de l'ordre de 0,30 à 0,35 mm.

MESURE DES CONTRAINTES RESIDUELLES

Pour caractériser l'état de contraintes résiduelles introduit par les différents traitements, des mesures de contraintes ont été effectuées par diffraction X à l'aide du goniomètre portable du CETIM dans la zone proche du pied du cordon de soudure.

La zone irradiée par les rayons X a une surface de $1 \times 4 = 4\text{mm}^2$ (fig. 2). Les mesures sont effectuées à la surface de la pièce en s'éloignant progressivement du pied du cordon. Les contraintes sont mesurées dans la direction perpendiculaire au cordon de soudure dans la zone centrale (fig. 3) et dans la zone latérale (fig. 4) de la pièce. L'évolution des contraintes résiduelles superficielles, en fonction de la distance au pied du cordon, est portée sur les figures 3 et 4. A l'examen de ces résultats, on peut faire les constatations suivantes :

- les contraintes résiduelles de soudage sont de l'ordre de 100 à 150 MPa en traction. Le profil de ces contraintes à proximité du pied du cordon apparaît très perturbé
- le détensionnement thermique annule les contraintes résiduelles
- la précharge statique entraîne la création de contraintes résiduelles de compression de l'ordre de 100 à 130 MPa dans la zone de concentration de contrainte située au pied du cordon de soudure
- le grenailage de précontrainte génère des contraintes résiduelles de compression de l'ordre de 300 MPa, quelques soient les conditions de grenailage. Le niveau de contrainte atteint ne varie pas avec la distance au pied du cordon. L'application d'un traitement thermique préalable ne modifie pas le niveau de contrainte résiduelle atteint. Les contraintes résiduelles obtenues en surface par grenailage semblent donc indépendantes de l'état initial des contraintes résiduelles.

ESSAIS DE FATIGUE

Les essais de fatigue sont réalisés en flexion plane quatre points (fig. 5) en sollicitation répétée. Le chargement des pièces est effectué par paliers de charge croissante (méthode LOCATI). Les paliers successifs sont espacés de 20 MPa et le niveau de départ identique pour toutes les pièces est de 80 MPa. La durée de chaque palier est de $2 \cdot 10^5$ cycles (fig. 5). Le rapport $R = F_{\min}/F_{\max}$ est égal à 0,1.

Sur la figure 6 ont été portés les nombres de cycles à l'amorçage (en trait plein) et les durées de vie jusqu'à rupture (en trait pointillé) obtenus sur les différents traitements étudiés. On note une amélioration notable de la tenue en fatigue pour tous les traitements de parachèvement.

Il est possible de mieux mettre en évidence l'ampleur de l'amélioration de résistance à la fatigue résultant de l'application des traitements de parachèvement en calculant à partir des résultats obtenus sur la méthode LOCATI, une contrainte équivalente à $2 \cdot 10^6$ cycles.

On utilise la formule proposée par les recommandations de la British Standard PD 6493.

$$\Delta \sigma_{eq} = \left(\frac{\sum_i N_i \Delta \sigma_i^m}{2 \cdot 10^6} \right)^{1/m}$$

Dans cette relation :

- $\Delta\sigma_i$ est l'amplitude de contrainte au palier i
- N_i le nombre de cycles effectué à chaque palier de charge
- m la pente de la courbe de Wöhler en coordonnées logarithmique ($m = 3$ pour les états bruts de soudage et $m = 4$ pour l'état détensionné après traitement thermique)

La limite de fatigue à $2 \cdot 10^6$ cycles ($\Delta\sigma_{eq}$) obtenue pour chaque traitement de parachèvement est indiquée dans le tableau ci-dessous.

Traitement	Limite de fatigue à $2 \cdot 10^6$ cycles en MPa
Brut de soudage	68
Détensionnement par traitement thermique	109
Précharge statique	129
Grenaillage I1	134
Grenaillage I2	158
Grenaillage I1 après détensionnement thermique	202
Grenaillage I2 après détensionnement thermique	157
Martelage	148

CONCLUSION

L'application des traitements de parachèvement conduit à une profonde modification du champ de contrainte dans la zone critique du pied du cordon. La résistance à la fatigue augmente corrélativement avec la réduction des contraintes résiduelles de tension dues au soudage et avec la création de contraintes résiduelles de compression.

Les meilleurs résultats sont obtenus avec le grenaillage de précontrainte et le martelage pour lesquels la limite de fatigue est multipliée dans un rapport égal ou supérieur à 2. Les conditions de grenaillage utilisées ne semblent pas avoir d'influence sur la tenue en fatigue des pièces brutes de soudage. En revanche, lorsque les pièces ont été détensionnées thermiquement, c'est le grenaillage le plus intense qui conduit à la plus grande durée de vie.

Des essais sont en cours pour examiner la relaxation des contraintes résiduelles et pour expliquer le comportement observé en fatigue à partir du champ de contraintes résiduelles réel qui subsiste dans la pièce lors de l'essai de fatigue.

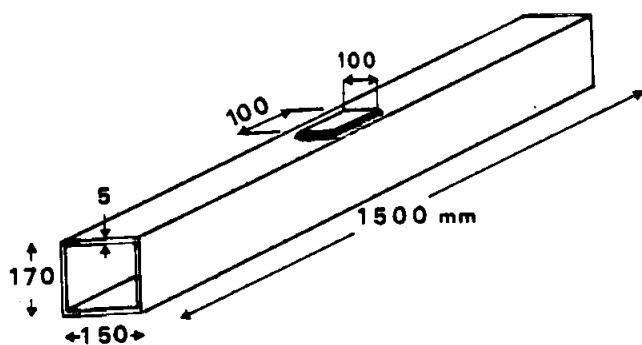


Fig. 1 Dimensions des pièces d'essais

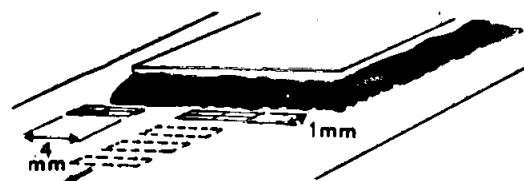


Fig. 2 Situation de la zone de mesure des contraintes résiduelles.

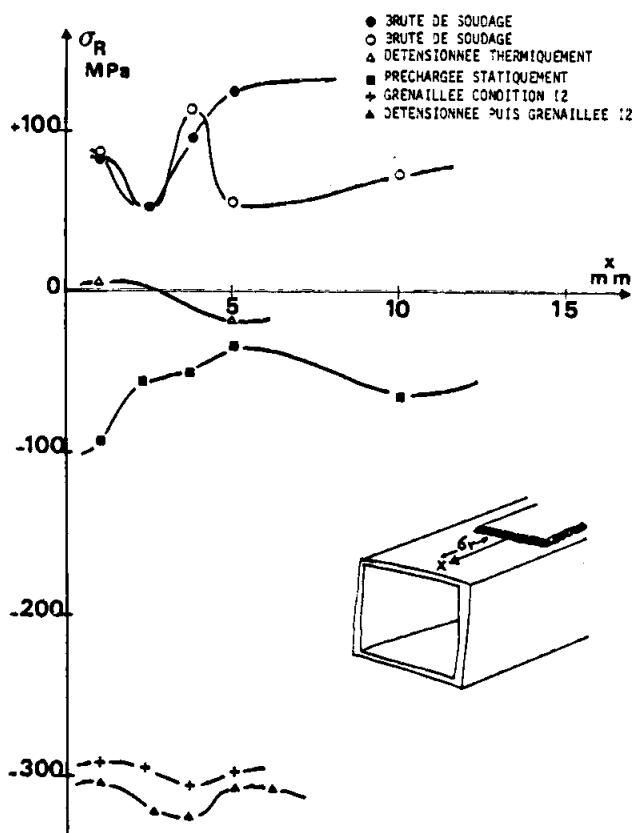


Fig. 3 Evolution des contraintes résiduelles superficielles en fonction de la distance au pied du cordon

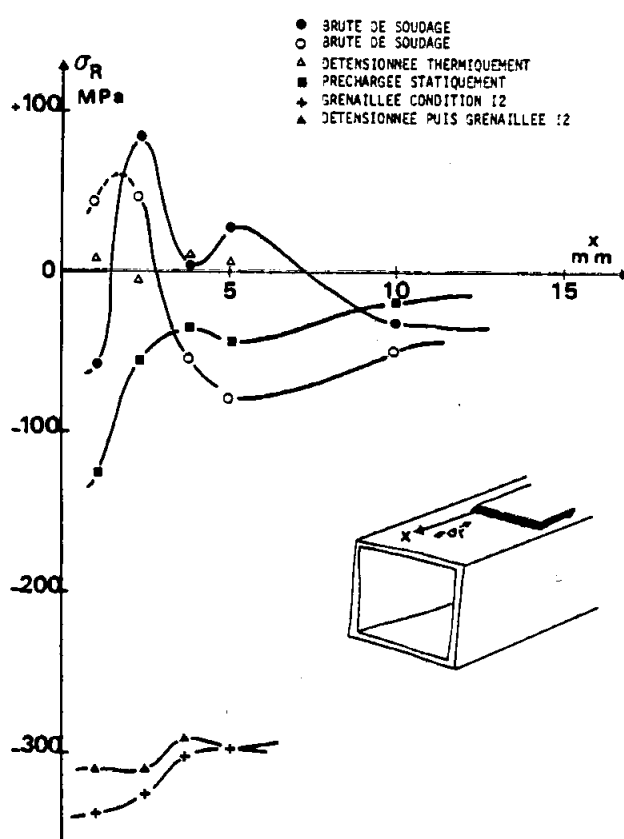


Fig. 4 Evolution des contraintes résiduelles superficielles en fonction de la distance au pied du cordon

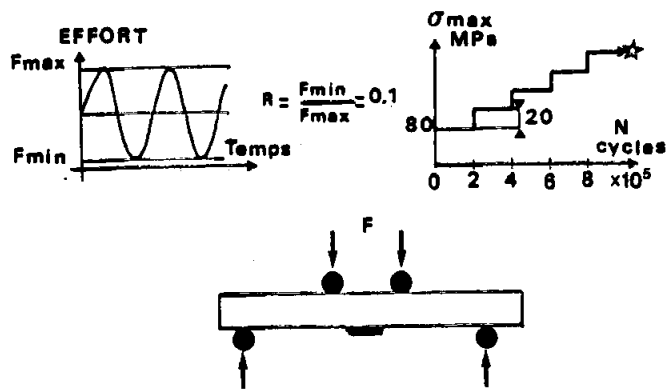


Fig. 5 Procédure utilisée lors des essais de fatigue.

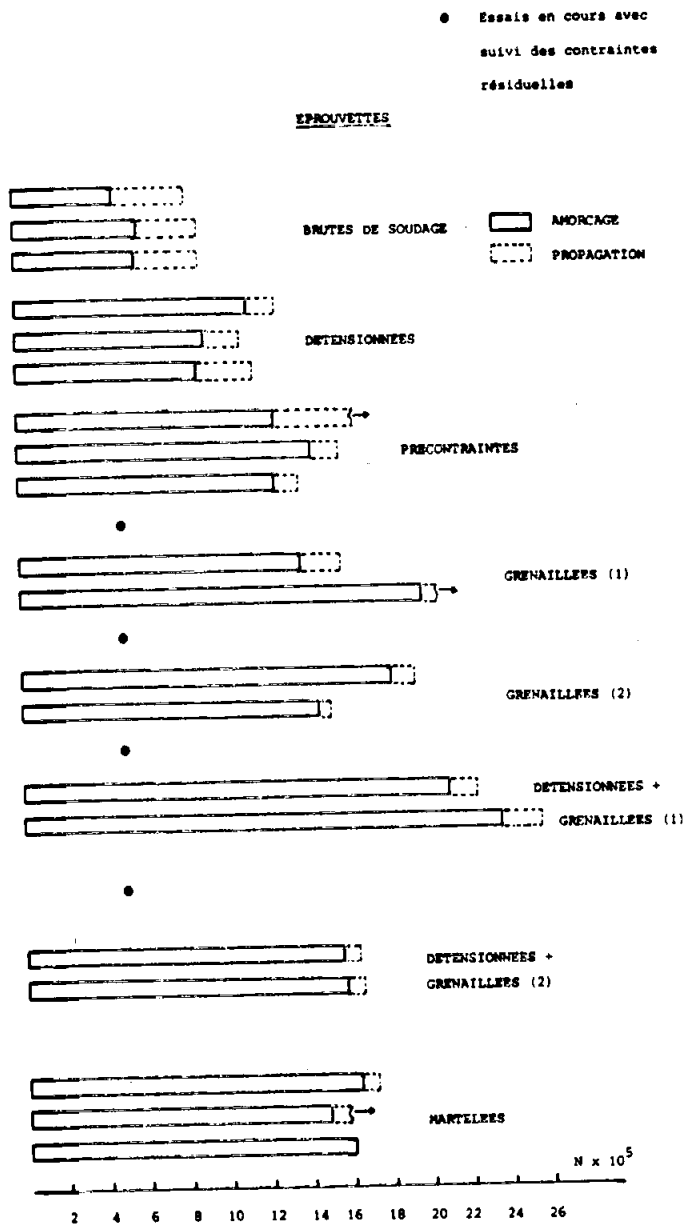


Fig. 6 Comparaison des durées de vie obtenues sur les divers traitements de parachèvement étudiés.