

# CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DU PARACHÈVEMENT DES SOUDURES POUR L'AMÉLIORATION DE LEUR RÉSISTANCE À LA FATIGUE

M. Bramat

*Institut de Soudure, France*

## RESUME

Among the variables which affect the fatigue behaviour of welded assemblies, the microgeometry and the residual stress condition play a major role, in particular as regards the duration of the crack initiation stage. The objective of weld treatments for increasing the fatigue limit of the assemblies is to create, as far as the two above-mentioned parameters are involved, situations more favourable than on as-welded assemblies.

Results are given of a study on the characterization of the improvements brought about by the following techniques :

- TIG- remelting of the weld toe
- peening between passes
- peening of the last run
- prestressing by shotblasting.

It appeared that shotblasting and peening were the most efficient techniques.

## MOTS CLES

Acier haute résistance; soudage avec électrode enrobée; soudage TIG; soudure d'angle; parachèvement; grenailage; martelage; résistance à la fatigue.

## INTRODUCTION

Le comportement en fatigue des assemblages soudés est influencé par un certain nombre de paramètres dont les plus importants sont les suivants:

- forme générale de l'assemblage
- microgéométrie du cordon
- présence ou absence de contraintes résiduelles.

Dans une construction soudée qui serait soumise à des sollicitations ayant un caractère de fatigue, il faut porter un intérêt tout particulier au choix des assemblages employés. En effet, chaque assemblage possède une limite de fatigue qui lui est

propre et qui conditionne la tenue de l'ensemble de la construction. Le choix d'une disposition constructive mal adaptée peut donc conduire à une augmentation inopportune des épaisseurs des échantillons et/ou des cordons.

La forme d'assemblage étant fixée - et corrélativement l'ordre de grandeur de la limite de fatigue - les deux autres paramètres mentionnés ci-dessus vont faire sentir à plein leur effet. La microgéométrie du cordon modifie la limite de fatigue en influant, dans des proportions qui peuvent être importantes, sur la durée d'amorçage. Par ailleurs, la présence de contraintes résiduelles, amenant une variation de la contrainte moyenne appliquée à tout ou partie de l'assemblage, entraîne une variation de la limite de fatigue.

Ces considérations générales amènent tout naturellement au concept de parachèvement des cordons de soudure, par mise en oeuvre de méthodes qui, par rapport à l'assemblage brut, auront pour but:

- une amélioration de la microgéométrie,  
et/ou
- une action au niveau de contraintes résiduelles.

Reprenons ces deux points.

L'amélioration de la microgéométrie peut être obtenue par différentes méthodes, dont la plus efficace est naturellement l'usinage puisque l'accident géométrique propre au cordon disparaît dans le cas des assemblages bout-à-bout et est notablement améliorée pour les assemblages par cordon d'angle. Mais l'usinage est un moyen coûteux et dont la mise en oeuvre n'est certaine que pour des géométries simples.

Une variante de l'usinage consiste à effectuer un meulage, qui a les mêmes buts, sinon les mêmes effets, que l'usinage. D'un emploi plus simple - car ne nécessitant pas de matériel encombrant - et moins coûteux, de bons résultats sont obtenus si quelques précautions élémentaires sont respectées, notamment pour ce qui concerne le sens du meulage relativement au sens des efforts. L'obtention de microgéométries améliorées est également possible dans le cas de cordon d'angle par des conditions particulières de soudage, aussi bien par emploi d'électrodes spéciales qu'en pratiquant une refusion du pied de cordon par soudage TIG.

L'amélioration de la tenue en fatigue par modification du système de contraintes résiduelles peut être envisagée suivant deux principes différents: action globale ou action partielle. Dans le premier cas, on procède à un traitement visant à éliminer les contraintes résiduelles dues au soudage. Ce traitement peut être conduit en portant la pièce à une température suffisante pour que sa limite d'élasticité n'atteigne plus qu'une fraction minime de sa valeur à l'ambiante. Dans ces conditions, et sous réserve de maintenir à température un temps tel que l'écoulement plastique se fasse complètement, on ne laisse subsister dans la pièce qu'un niveau très faible de contraintes résiduelles. On a également tout loisir de procéder à un chargement qui viendra ajouter son effet à celui des contraintes résiduelles. Par plastification à température ambiante, on provoque une élimination des contraintes résiduelles d'autant plus grande que les déformations induites sont importantes.

Une modification partielle de l'état de contraintes résiduelles est offerte par des procédés amenant des écoulements plastiques localisés, comme par exemple ceux qui sont obtenus, en surface, par mise en oeuvre de martelage ou de grenailage. Dans ces conditions, sans modification globale de l'état de contraintes résiduelles, on crée une zone de compression superficielle, d'importance limitée en épaisseur. Egalement, et pouvant être considérée comme effet secondaire, une certaine amélio-

ration de la forme des cordons est souvent obtenue.

Partant de ces différentes considérations, nous avons élaboré une étude visant à déterminer quantitativement l'avantage apporté par les principales méthodes de parachèvement procédant des principes énoncés ci-dessus.

#### PRINCIPE DE L'ESSAI RETENU

Dans l'optique de caractériser l'efficacité de traitements de parachèvement sur la tenue en fatigue des assemblages soudés, nous avons choisi de travailler sur des éprouvettes dont la géométrie est donnée Fig. 1, et sollicitées en flexion selon le schéma de la Fig. 2. De cette manière, on peut réaliser un nombre élevé d'éprouvettes pour un coût modeste et le mode de sollicitation, allié à la géométrie, détermine à coup sûr la localisation des fissures de fatigue. Nous devons également indiquer que l'acier employé pour la confection des éprouvettes est un E 36 - 3.

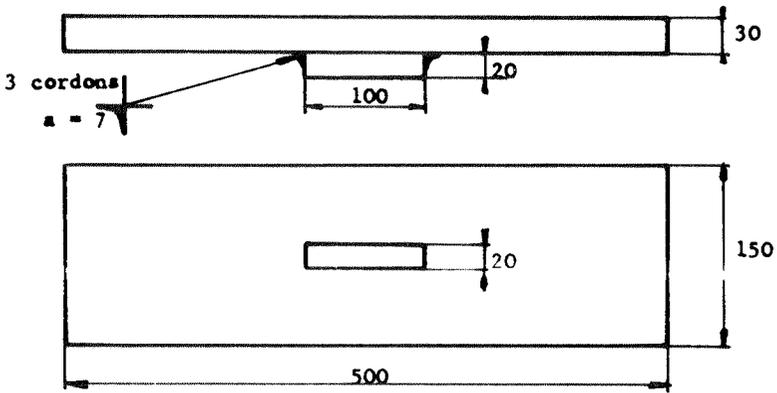


Fig. 1: Schéma des éprouvettes.

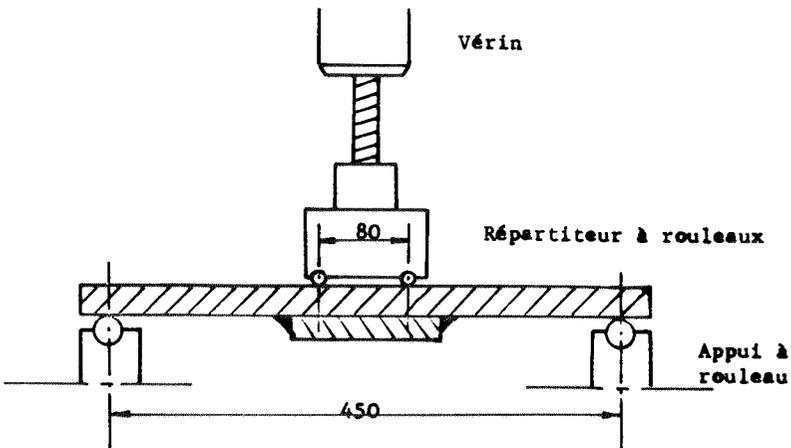


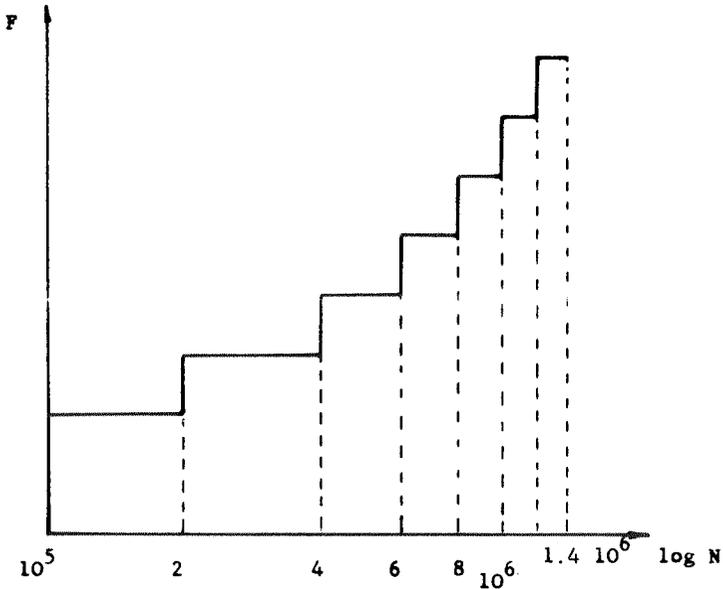
Fig. 2: Principe du montage d'essai.

## Fabrication des éprouvettes

La liaison de la barrette 20 x 20 sur la plaque de base est obtenue par soudage électrique à l'arc avec électrodes enrobées basiques. Trois passes sont nécessaires pour réaliser un cordon de 7 mm de gorge. Les deux premières passes sont effectuées sans reprise tandis que pour la 3ème passe nécessitant l'emploi de deux électrodes, les démarrages, arrêt et reprise de soudure sont situés en dehors des extrémités de barrette.

## Paramètres d'essai

La caractérisation de chaque type de parachèvement est effectuée à l'aide de trois éprouvettes. Trois éprouvettes brutes de soudage sont également essayées de manière à fournir une base de référence. Chaque éprouvette est soumise à un essai de type LOCATI comportant des cycles d'efforts dont l'amplitude croît par paliers échelonnés en progression arithmétique comme indiqué Fig. 3.



Palier N°	Nb. de cycles	F (N)		Contrainte de traction au raccordement N/mm <sup>2</sup>
		Mini	Maxi	
1	2 10 <sup>5</sup>		27.500	100
2	2 10 <sup>5</sup>		32.750	120
3	2 10 <sup>5</sup>	au plus près de zéro	38.250	140
4	2 10 <sup>5</sup>		43.700	160
5	2 10 <sup>5</sup>		49.150	180
6	2 10 <sup>5</sup>		54.600	200
7	2 10 <sup>5</sup>		59.070	220

Fig. 3: Paramètres de l'essai de fatigue.

## DESCRIPTION DES METHODES DE PARACHEYEMENT ETUDIEES

## Refusion TIG

Il s'agit de refondre le pied des cordons d'angle pour conférer au raccordement entre le métal fondu et le métal de base une forme plus douce que celle correspondant à l'état brut de soudage.

L'Institut International de la Soudure a établi une recommandation concernant la mise en oeuvre de cette technique. En particulier l'intensité du courant de soudage et la vitesse d'avance doivent se situer dans des limites définies Fig. 4. Les conditions opératoires que nous avons employées se situent en limite basse de vitesse. Malgré cette précaution, il a été nécessaire de procéder à un préchauffage à 150° C de l'acier utilisé (E36-3) afin de ne pas excéder des valeurs de dureté des 412 HV5.

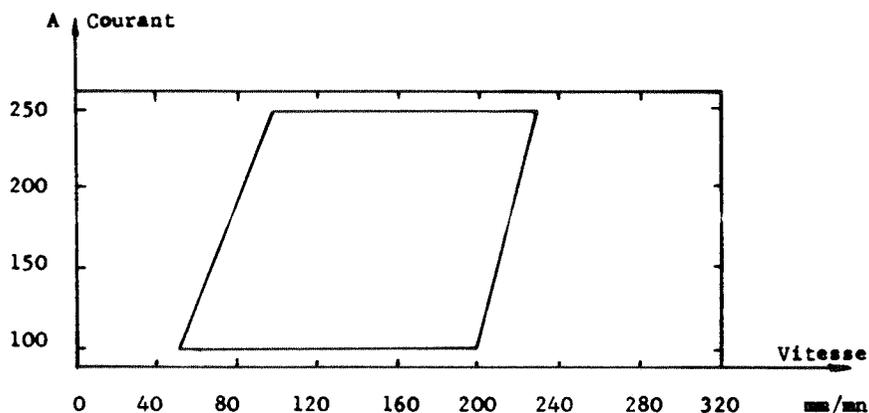
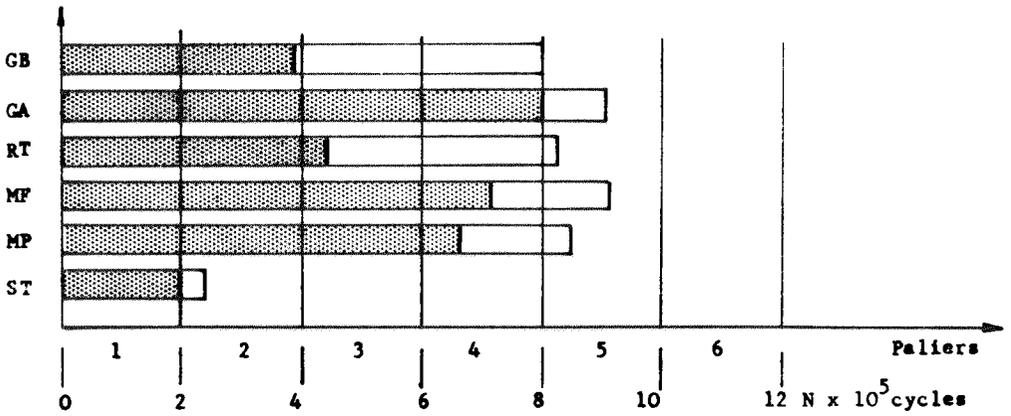


Fig. 4: Conditions d'exécution de la passe de parachèvement TIG suivant doc. IIS.IIW 494.76.

## Grenaillage contrôlé

Cette technique consiste à projeter sur la surface de la pièce à traiter des particules de nature et de dimensions données, dans des conditions contrôlées par plaquettes ALMEN (SAE J 808 a). Dans le cas présent, deux modes opératoires ont été essayés. Les paramètres étaient les suivants :



b) à l'apparition des fissures.

Fig. 5: Résultats des essais de fatigue.

Eprouvettes brutes de soudage.

Les fissures se sont initiées et développées en pied de cordon, qui constitue la zone la plus sensible du cordon d'angle. (Fig. 6)

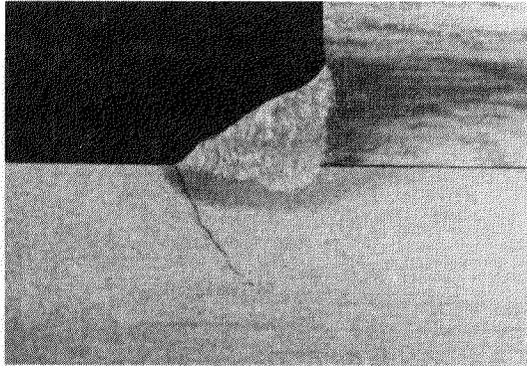


Fig. 6: Epreuve sans parachèvement.

## Eprouvettes avec martelage

Trois éprouvettes ont été martelées après exécution complète du cordon tandis que 3 autres éprouvettes ont été martelées après exécution de chaque passe. On ne note pas de différence caractéristique de comportement entre les deux types de traitements. En effet, dans les deux cas, et sauf si le raccordement en pied de cordon n'est pas satisfaisant, les fissures s'initient en racine et se propagent de façon identique. (Fig. 7)

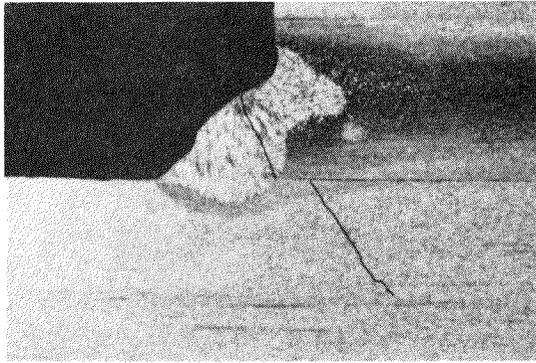


Fig. 7: Eprouvette avec martelage.

## Eprouvettes avec refusion TIG

On constate 3 comportements différents:

- a) Protection efficace du pied de cordon: la fissure s'initie en racine (Fig. 8)

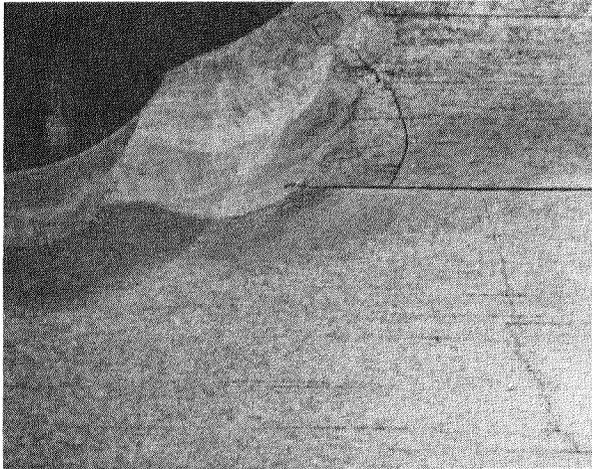


Fig. 8: Eprouvette avec refusion TIG  
Fissuration côté racine.

- b) Protection efficace du pied de cordon mais non de sa surface: la fissure prend naissance à partir d'un accident géométrique non éliminé par la refusion. (Fig. 9)

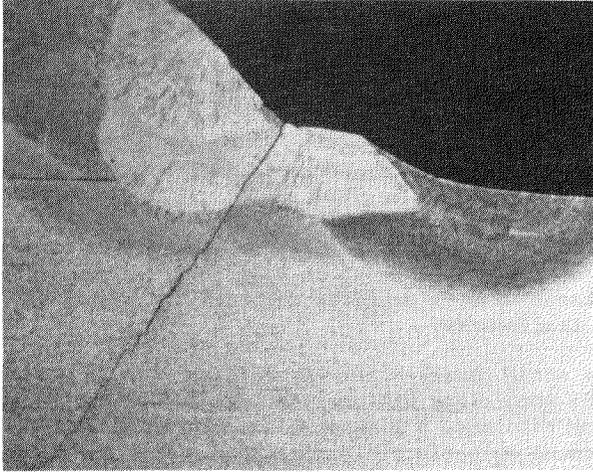


Fig. 9: Epreuve avec refusion TIG  
Fissuration sur défaut non refondu.

- c) Création d'un défaut de forme lors de la refusion: la fissure s'initie au niveau de ce défaut. (Fig. 10)

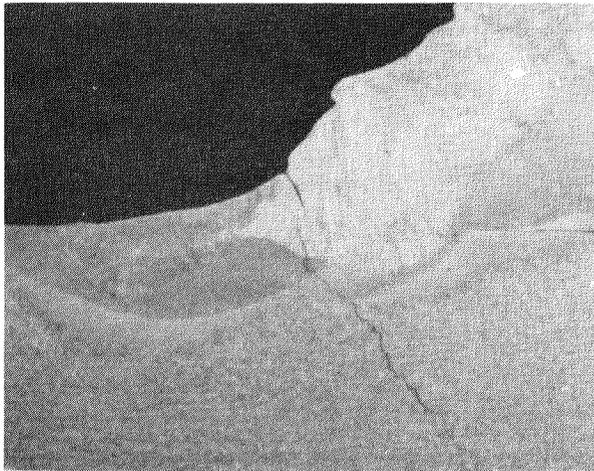


Fig. 10: Epreuve avec refusion TIG  
Fissuration sur caniveau provenant de la refusion.

## Eprouvettes grenaillées

Pour les éprouvettes grenaillées avec l'un ou l'autre des modes opératoires, la fissure s'initie en pied de cordon et se propage d'une manière analogue à celle des éprouvettes brutes de soudage, mais l'amorçage de la fissure est considérablement retardé.

## CONCLUSIONS

Tout traitement de parachèvement apporte une amélioration de la tenue d'un assemblage soudé soumis à fatigue.

Les deux traitements qui apportent l'amélioration la plus intéressante (répétabilité et importance) sont ceux qui, tout en améliorant un peu la forme du raccordement cordon-pièce induisent un état de forte compression en surface. On remarque, au sujet de ces deux traitements:

- que le martelage entre passes n'est pas meilleur sur le martelage final.
- que le respect de conditions strictes de martelage n'est pas impératif pour l'obtention d'un même résultat, à l'inverse du grenailage.
- que le développement en surface des fissures se fait sensiblement à la même vitesse avec le martelage ou avec le grenailage.

Il convient naturellement de replacer ces résultats dans leur contexte qui est celui d'essais conventionnels de fatigue, sous conditions particulières de chargement, sur éprouvettes de petites dimensions. Il y a lieu par conséquent de confirmer, sur essais en vraie grandeur, les résultats précédents et de tenir compte ou de définir des paramètres complémentaires tels que commodité d'application et coût pour orienter vers la mise en oeuvre d'un mode de parachèvement donné qui ne doit malgré tout venir qu'en complément du choix judicieux et de la confection soignée d'un assemblage soudé soumis à la fatigue.