



METHODOLOGIE D'ANALYSE DIFFRACTOMETRIQUE DES CONTRAINTES DANS LES JOINTS SOUDES TIG ET FAISSEAU D'ELECTRONS.

C. Kahloun¹, B. Bacroix¹, Riad Badji² et Kheireddine Bettahar³

¹ : Université Paris Nord, LSPM-CNRS, Avenue Jean Batiste Clément 93430 Villetaneuse

² Centre de Recherche en Soudage et Contrôle (CSC) B.P 64, Cheraga Alger.

³ E.N.P, 10 avenue Hassan Badi 16200 El Harrah Alger. Algérie

Résumé :

Le niveau des contraintes résiduelles issues de l'opération de soudage est avec la structure métallurgique un facteur critique de la soudabilité. La présence de contraintes élevées dans les zones fragiles peut conduire à la rupture brutale des structures soudées. L'analyse diffractométrique permet d'évaluer ces contraintes de façon non destructive. Nous présentons dans cette étude deux cas d'analyse dans des joints soudés sur plat de tôle d'acier 18CMD5. Le premier cas est une analyse par zone dans un joint obtenu par soudage TIG, le deuxième est l'analyse du profil des contraintes perpendiculaires à un joint soudé par faisceau d'électrons

Mots clés : contraintes, soudage

1 Introduction

Après une approche classique d'analyse sur une ligne de fusion TIG pour laquelle les niveaux des contraintes sont déterminés dans chaque zone (ZF, ZAT et métal de base), nous présentons une analyse des contraintes dans un joint soudés par faisceau d'électrons sur tôle de faible épaisseur. Dans ce dernier cas la méthode diffractométrique d'analyse des contraintes se trouve en difficultés en raison de l'étroitesse des joints soudés. Pour être opératoire, cette méthode requiert en effet un nombre suffisant de cristallites en position de diffraction, c'est à dire une zone irradiée d'aire suffisante. Pour rendre l'analyse possible, nous proposons un mode opératoire et un traitement des mesures qui conduit à l'analyse des contraintes dans des zones d'une centaine de micromètres de largeur.



2 Le dispositif expérimental d'analyse des contraintes.

Le dispositif utilisé est le Set X fabriqué par la société Elphyse et distribué par Siemens [1] (figure n°1). Il comprend un générateur, un dispositif de refroidissement, un ordinateur, un tube à anticathode de Chrome et un détecteur linéaire monté sur un goniomètre mobile. On peut effectuer l'analyse des contraintes dans une direction donnée ou obtenir le tenseur complet à partir de la détermination des contraintes dans trois directions. Le calculateur donne pour chaque incidence : la position du profil de diffraction, sa hauteur, son intensité, sa largeur de corde au 2/5^{ème} de la hauteur, sa largeur intégrale et le bruit de fond, (figure n°2). A partir de la position de chaque profil, une analyse elliptique est effectuée conduisant à : la contrainte normale σ_ϕ et le cisaillement τ_ϕ .

A l'aide des profils de diffraction utilisés pour l'analyse des contraintes, les largeurs de cordes moyennes et les largeurs intégrales moyennes sont calculées.

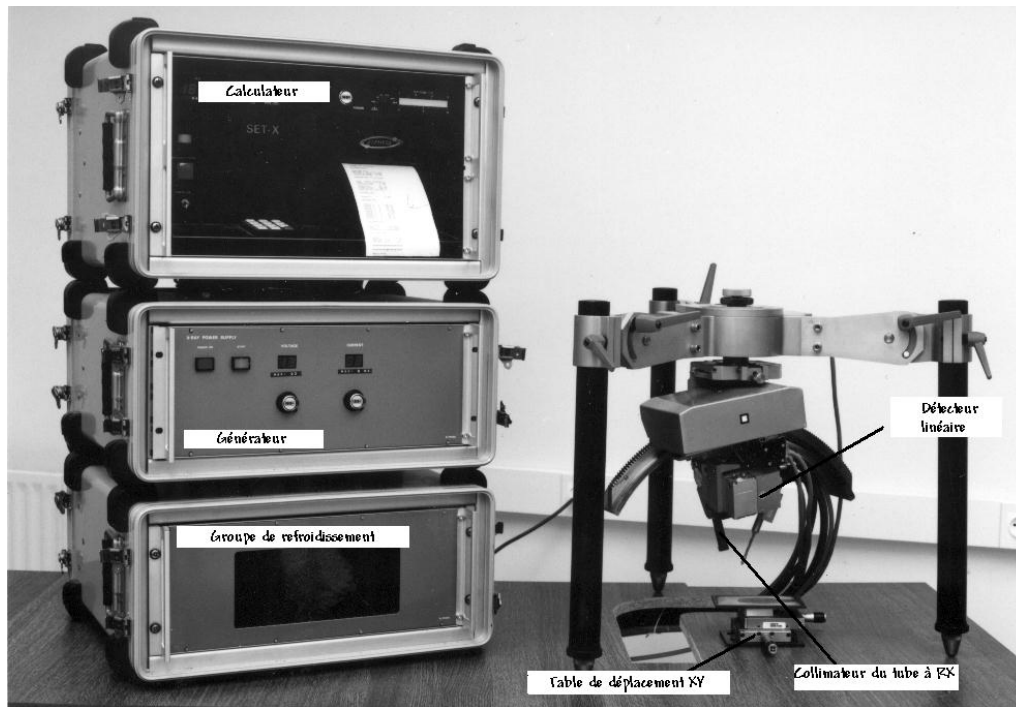


Figure n°1: Dispositif d'analyse des contraintes

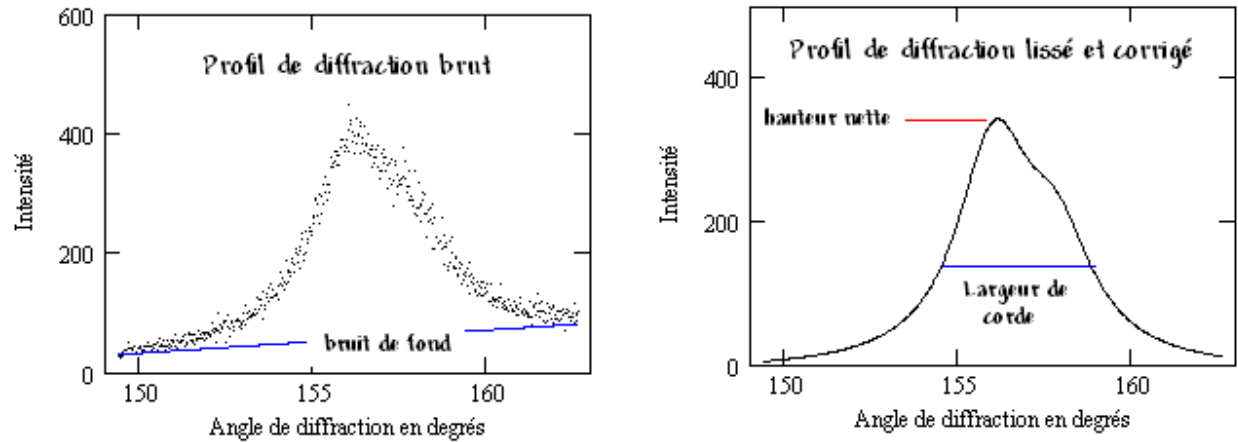


Figure n°2 : Profil de diffraction.

3. Topographie des contraintes à la surface d'une ligne de fusion TIG. Analyse des contraintes par zone.

Nous avons procédé à des analyses de contraintes dans des zones métallurgiques homogènes d'une ligne de fusion TIG sur tôle de 4 mm d'épaisseur sur un acier 18CMD5. La surface irradiée est un disque de 4,24 mm de diamètre. Au centre de chaque carré (5x5mm²) les contraintes longitudinales et transversales au cordon ont été déterminées (figure n°3). Nous pouvons ainsi étudier l'évolution des contraintes au long du joint dans la zone fondue, la ZAT qui a subi une surchauffe, et la ZAT qui a subi une recristallisation.

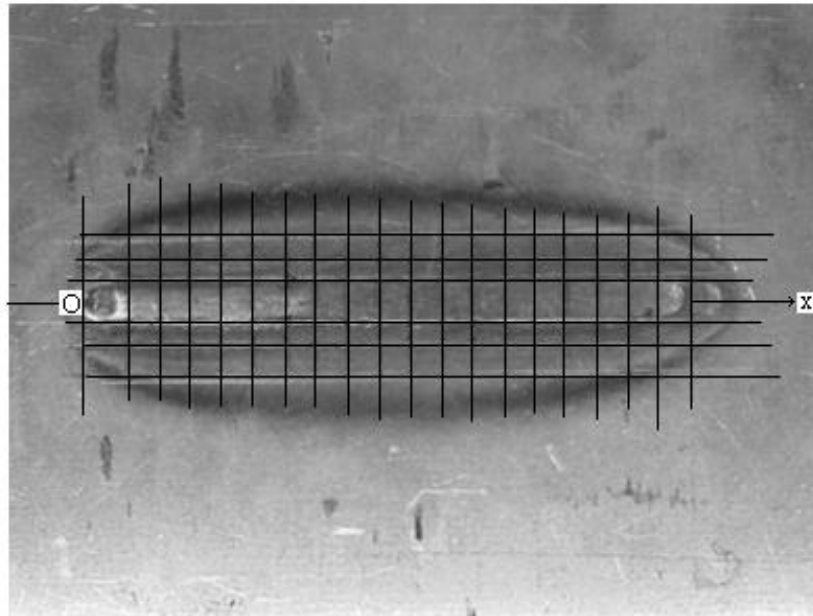


Figure 3 : ligne de fusion TIG sur plat

La topographie des contraintes (figure n°4) nous permet de faire des observations qualitatives sur le champ des contraintes longitudinales et transversales. Nous pouvons tout d'abord constater que l'opération de soudage à effacer le champ de contraintes initialement présent en surface de la tôle jusqu'à une distance de 20 cm de l'axe du joint soudé. On observe ensuite la forte symétrie des contraintes par rapport à l'axe du cordon. La zone de plus fortes contraintes se situe dans la zone fondue, en fin de cordon pour les contraintes transversales, en début de cordon pour les contraintes longitudinales. On peut voir enfin des fluctuations des lignes d'iso-contraintes qui produisent des pincements réguliers transversalement à l'axe du cordon. Ce phénomène peut s'expliquer par les oscillations du bain fondu au cours du soudage. Ces oscillations provoquent des fluctuations de la vitesse de solidification et produit l'effet observé sur le champ des contraintes.

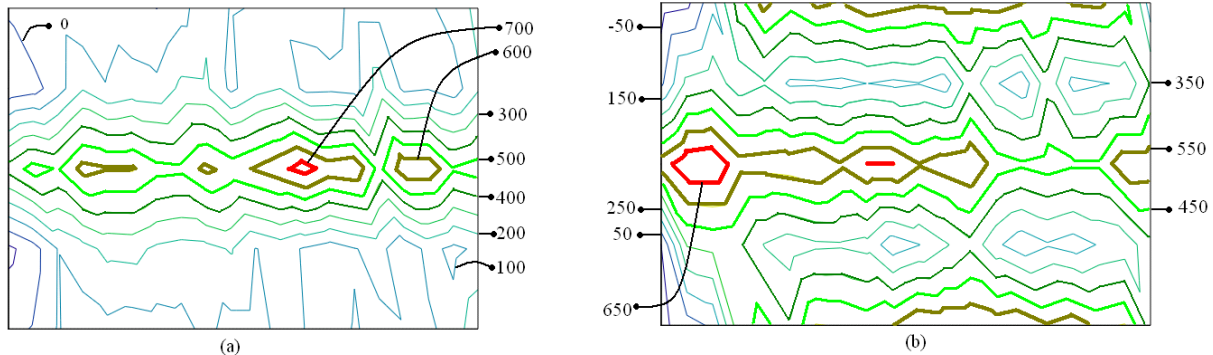


Figure n°4 Topographie des contraintes a-Contraintes transversales b- contraintes longitudinales

La figures n°5 offre des informations quantitatives. Nous observons pour toutes les zones de fortes variations des contraintes en début et fin de cordon. Dans la région qui s'étend entre 37 et 83 mm du début de cordon ces contraintes varient peu. L'établissement du régime quasi-stationnaire de la chaleur et la position éloignée du début et fin de cordon expliquent la faible variation des contraintes dans cet intervalle. Notons que le régime quasi-stationnaire n'est jamais parfaitement atteint car il existe dans cette zone centrale de l'éprouvette une faible décroissance des contraintes liée sans doute à un échauffement globale de celle-ci.

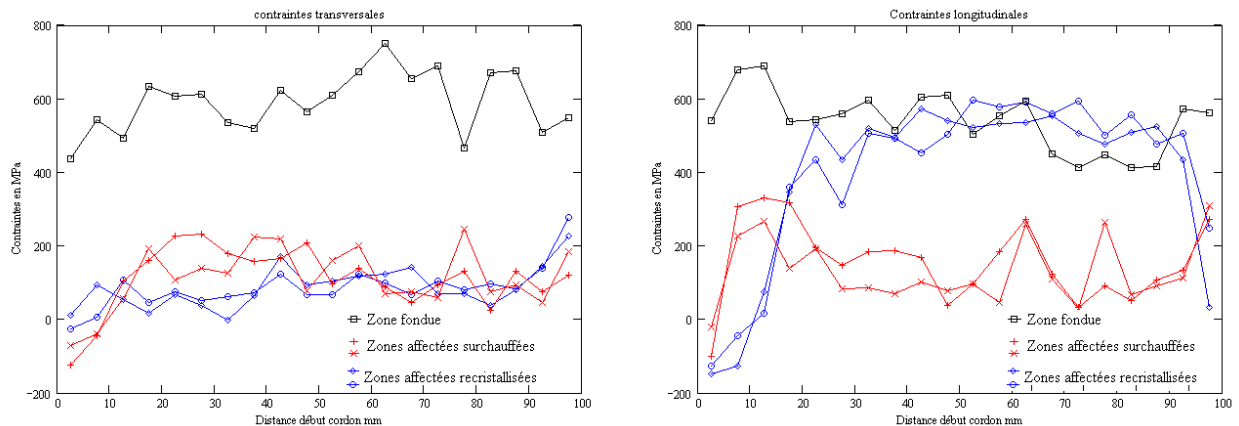


Figure n°5 : Evolution des contraintes au long de la ligne de fusion.

Nous retrouvons la forte symétrie du champ des contraintes par rapport à l'axe du cordon. Constatons enfin que la zone fondue et la zone affectée ont une structure martensitique et qu'elles sont dans un état de traction. Nous sommes donc dans une situation défavorable du point de vue de la soudabilité.



4. Profil des contraintes transversales le long d'un axe perpendiculaire à un cordon soudé par faisceau d'électrons.

La figure n°6 montre le profil des contraintes transversales le long d'un axe perpendiculaire à un cordon soudé par faisceau d'électrons sur une tôle d'acier 18CMD5 de 4 mm d'épaisseur. Une coupe du joint soudé à été rapportée sur le graphique afin de situer le profil par rapport au cordon. Les zones transformées du joint qui ont une structure martensitique sont maintenant en compression, ce qui est favorable à la soudabilité. Chaque détermination de contrainte est obtenue sur une surface irradiée de 4,24 mm de diamètre, or la largeur du cordon est de 2mm. Il existe un gradient de contrainte dans la zone irradiée dont l'analyse donne la valeur moyenne [2].

Le profil des contraintes mesuré est donc le résultat de la convolution spatiale du profil réel $\sigma(x)$ par une fenêtre de largeur e . Nous avons :

$$(1) \sigma_m(x) = \frac{\int_{x-\frac{e}{2}}^{x+\frac{e}{2}} \sigma(X).dX}{e}$$

où $\sigma_m(x)$ est la contrainte mesurée en x .

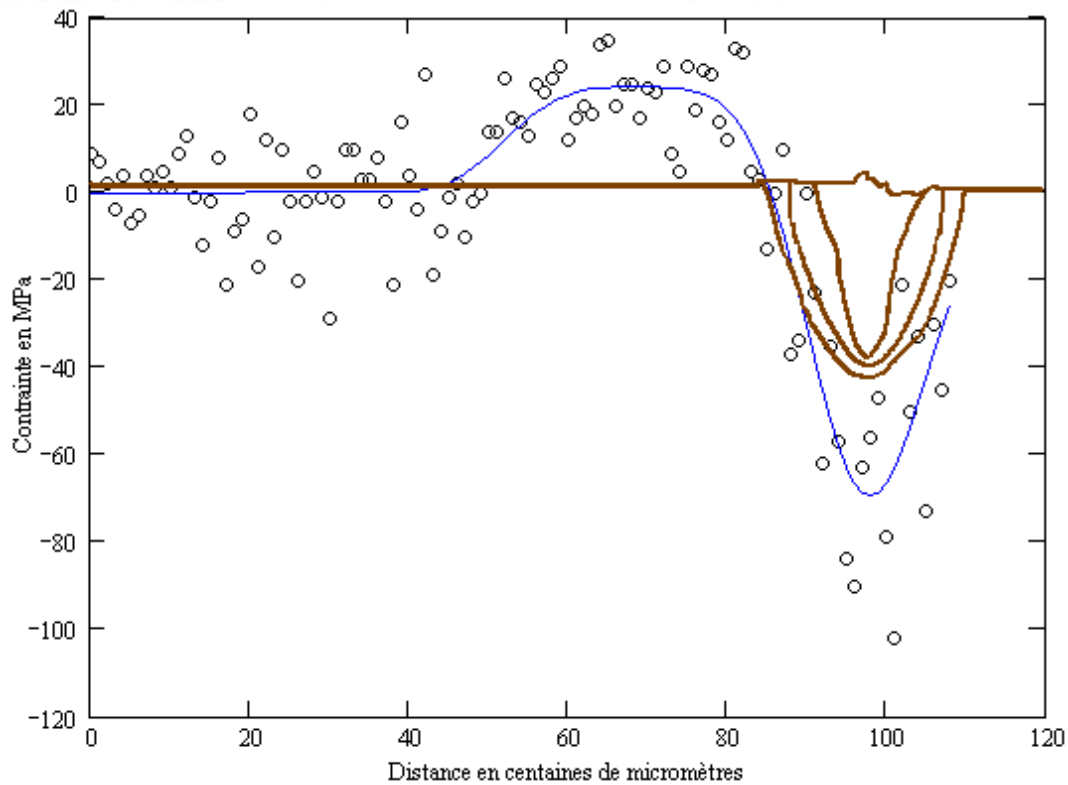


Figure n°7 : profil des contraintes

Afin de trouver le champ de contrainte réel $\sigma(x)$ il faut déterminer la largeur de fenêtre e et procéder à la déconvolution des contraintes mesurées.

Une procédure utilisant une tôle mi-rectifiée, mi-recuite permet de déterminer la réponse du diffractomètre à un échelon de contrainte[3]. Cette réponse permet d'évaluer e à 2,2mm.

5. Déconvolution du champ de contraintes

A partir de la relation (1), nous pouvons écrire :

$$\sigma(x+\frac{e}{2})=\sigma(x-\frac{e}{2})+e.\frac{d \sigma_m(x)}{dx} \quad (2)$$

d'ou on tire la relation de récurrence :

$$\sigma(n+p)=\sigma(n-p)+e.\sigma'_m(n) \quad (3)$$

avec $e=2p+1$



$\sigma_m'(n)$ est la dérivée par rapport à la position de la contrainte mesurée au point n.

L'équation (3) permet d'obtenir la contrainte réelle $\sigma(n)$.

En chaque point n.

Le résultat est donné dans la figure n°4.

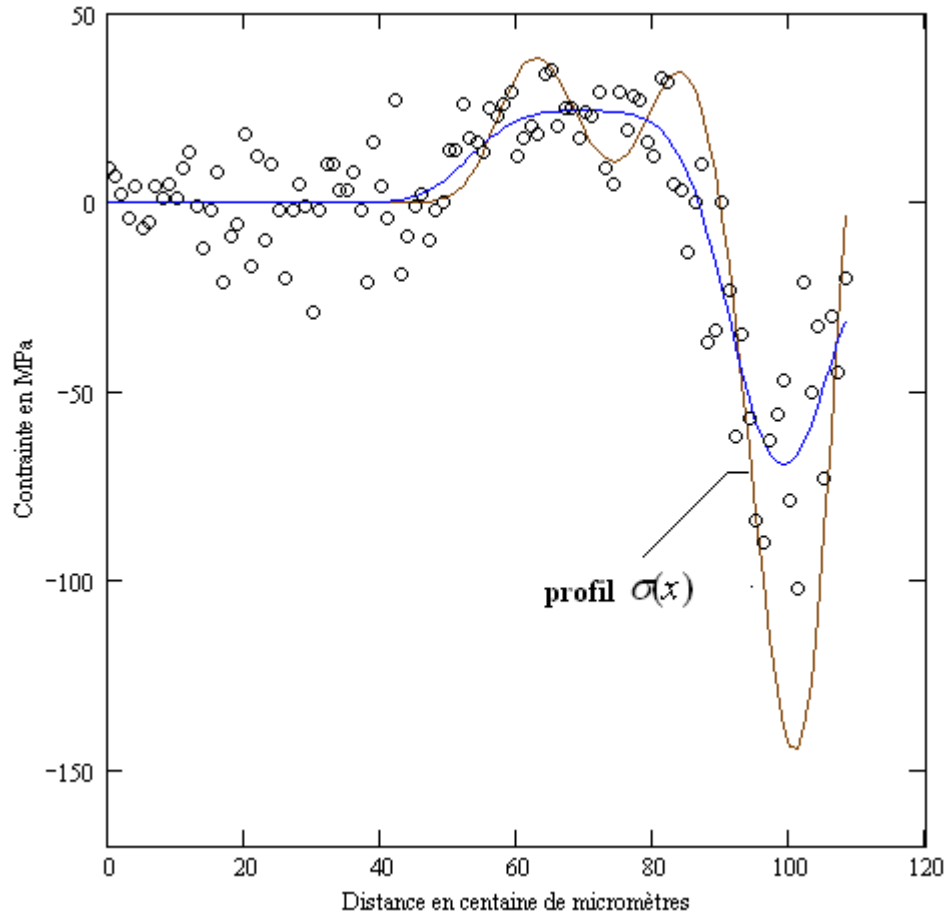


Figure n°8 : Restitution du champ de contrainte



6. Références bibliographiques.

[1] M Desvignes. L. Castex. J.M. Sprauel Nouvelle appareil de diffractométrie X pour analyse des contraintes et dosage d'austénite. Colloque Siemens Grenoble 23 au 26 avril 1985.

[2] C. Kahloun, K.Badawi, A Diou. Analyses des contraintes par diffraction X. Forts Gradients et fortes hétérogénéités. Publication de l'IITT International. Editions Hermès. 1991.

[3] C. Kahloun Analyse diffractométrique des contraintes dans les joints soudés de faibles dimensions. Soudage et Technique connexes. Vol 57 pp 43-54 janv-fev 2003.