

Mars 2011ouargla

## *Le processus du contrôle des tubes (en acier E24-2) soudés par induction à haute fréquence ( traction dureté).*

Aboudi A., Meddour B., Debaili H., Zedira H. Chermime B.

Centre Universitaire de Khenchela 40000, Khenchela Algérie  
abboudiabdalaziz@yahoo.fr

### **Résumé :**

*Notre approche est essentiellement basée sur l'étude de l'acier qui est un paramètre essentiel régissant la soudabilité, pour cela il est nécessaire de sélectionner les propriétés mécaniques adéquates des matériaux utilisés (E24-2) et de vérifier que cette nuance de fabrication mécanique répond aux exigences conventionnelles (propriétés de ductilité et de résistance).*

*Nous avons effectué les essais mécaniques de dureté essai sur des éprouvettes prélevées longitudinalement et transversalement sur le cordon de soudure.*

Mots clés : mécanique traction dureté recuit ductilité

### **1) Introduction:**

L'intérêt de cet axe de recherche est motivé par le souci de déceler les anomalies liées à la soudure (opération qui consiste à unir les parties constituées d'un assemblage, de manière à assurer la continuité de la matière entre ces parties), et d'analyser scientifiquement ce problème afin de pouvoir proposer des solutions qui permettent d'assurer un point de qualité. En fait la soudabilité est une propriété qualitative pour laquelle les critères de jugement seront différents selon les réalisations envisagées.

De nombreux facteurs ont intervienu au cours d'une opération de soudage, dont l'acier n'est pas le seul d'entre eux. Les zones soudées constituent dans bien des cas les points faibles de constructions.

La résistance à la rupture ou à la fatigue de la structure finale est souvent limitée par le comportement de ces zones soudées pour diverses raisons :

la géométrie de la zone fondue pour introduire des défauts qui sont l'origine d'amorces de rupture,

les contraintes résiduelles de tension dues à la concentration de contraintes lors de la solidification de soudage,

enfin et surtout l'apparition de structures fragiles: martensitique ou gros grains dans la zone affectée thermiquement (ZAT) entraînant ainsi une diminution des propriétés mécaniques de ces zones fragilisées encore par les impuretés et les gaz (hydrogène par exemple).

Le développement actuel de ces procédés de soudage est axé sur le perfectionnement des techniques d'utilisation (procédés métallurgiques et traitements), l'introduction des robots industriels et de la programmation et surtout l'application des nouvelles sources d'énergie.

L'une des principales applications du soudage et la fabrication des tubes et d'autres produits en acier aluminium ou cuivre par un procédé répondant parfaitement aux exigences industrielles est le soudage des tubes par induction haute fréquence (HF) cette technique est aujourd'hui mieux connue en Algérie et plus exactement par la fabrication des tubes différents diamètres à l'usine d'El Abiodjessa.

L'objectif de l'approche essentielle dans cette étude est la caractérisation des processus contrôlant le comportement mécanique des tubes en acier (de type E24-2), soudés par induction haute fréquence, en considérant ainsi des essais destructifs tels que: la traction, dureté

### **2) Matériel et méthodes:**

#### **a) Éprouvettes**

L'éprouvette est constituée soit par un tronçon de tube soit par une bande longitudinale ou transversale découpée dans le tube et ayant l'épaisseur totale de la paroi du tube (voir figures 1, 2 et 3) soit par une éprouvette de section circulaire usinée dans la paroi du tube. Dans le cas d'essais sur bandes prélevées sur tubes soudés et en l'absence de prescription contraire de la norme

de produit la bande est d coup e hors du cordon de soudure. 1

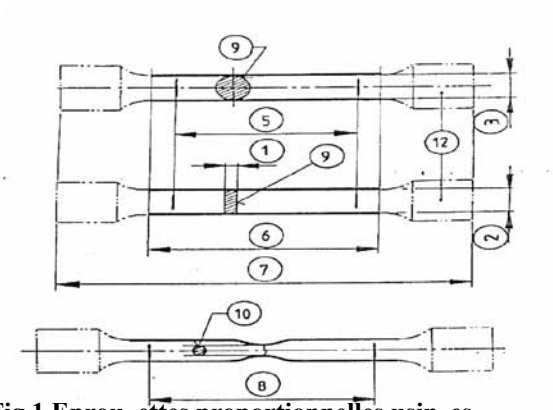


Fig.1 Eprouttes proportionnelles usinées.

1

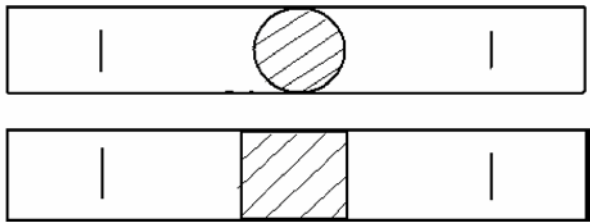


Fig.2 Eprouttes constituées par une portion non usinées

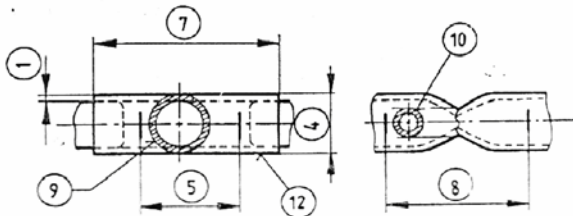


Fig.3 Eprouttes constituées par un tronçon de tube. 1

b) Essai de traction



Fig.4 Machine de traction utilisée

c) Essai de dureté



Fig.5 Duromètre et micro duromètre (2)

### 3) Résultats et discussions

Après avoir effectué les essais cités précédemment on est aboutit aux résultats suivants :

a) Essai

Les résultats des caractéristiques mécaniques y compris la dureté et la résilience sont regroupés dans les tableaux 1, 2 et 3.

**b Résultats des essais de la dureté (Microdureté)**

Tous les résultats des mesures de dureté effectués pour les différentes zones suivant le sens longitudinal de la poutre sont regroupés dans le tableau

H ( gf/mm )			
N	Zone fondue	Zone affectée thermiquement (ZA)	Matériau de base
1	135	230	125
2	132	225	132
3	147	215	118
4	157	234	109
5	124	206	106
6	146	205	127
7	127	190	114
8	136	224	119
9	133	212	126
	122	193	117
10			
11	125	181	116
12	156	231	111
13	134	203	128
14	138	206	126
15	157	221	109

Tableau.4 Micro dureté H (ickers) dans les différentes zones d'une poutre soudée (sens longitudinal)

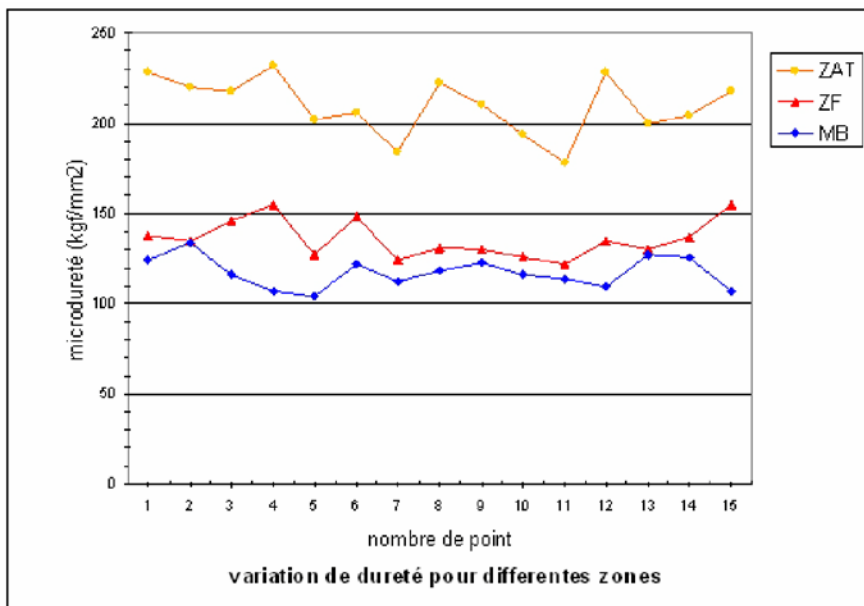


Fig5 Variation de la dureté dans les différentes zones

Les courbes de la figure 5: montrent l'évolution de la microdureté des zones (MB ZA ZF) suivant le sens longitudinal du joint de soudure d'après ces courbes nous constatons que: la dureté de la zone (ZF) augmente légèrement par rapport au métal de base (MB) ceci dû au forgeage mécanique en chaud et aux contraintes résiduelles résultantes des déformations plastiques locales le durcissement de la zone fondue ZF ( zone due aux cycles de chauffage et de refroidissement locaux depuis la température de soudage) et le joint réalisés sont moins ductiles probablement par la présence d'oxydes (FeO, MnO, SiO2). Quant à la dureté de (ZA) : elle est très élevée par rapport à celles des deux autres zones, ceci est dû aux grains qui sont très fins.

résiduelles résultantes des déformations plastiques locales.

le durcissement de la zone fondue ZF ( zone due aux cycles de chauffage et de refroidissement locaux depuis la température de soudage) et le

H ( gf/mm )			
Métal de base	Zone affectée thermiquement (ZA)	Zone fondue	N
114	159	292	1
116	185	323	2
146	160	267	3
128	212	274	4
115	246	284	5
139	194	298	6

Tableau.5 microdureté H (ickers) dans les différentes zones d'une banche soudée (sens transversal)

joint réalisés sont moins ductiles probablement par la présence d'oxydes (FeO, MnO, SiO2).

Quant à la dureté de (ZA) : elle est très élevée par rapport à celles des deux autres zones, ceci est dû aux grains qui sont très fins.

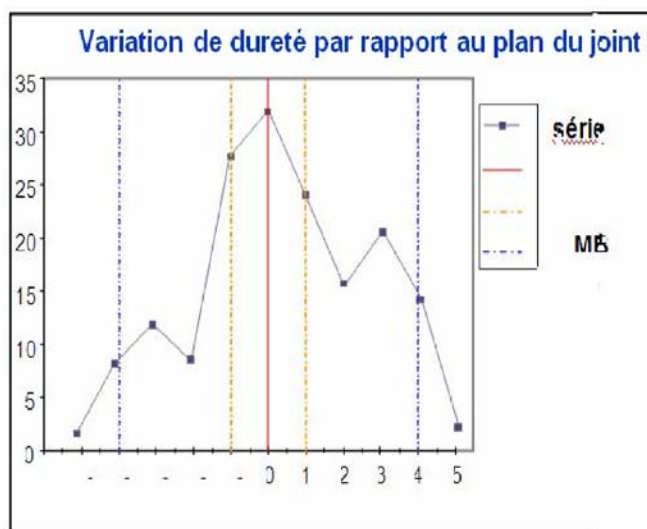


Fig. 6 : Variation de la dureté H par rapport au plan du joint

## 4 Interprétation et analyse des résultats

Sur la base des résultats obtenus suite notre étude menée au sein de l'unité de recherche, nous pouvons avancer dans ce qui suit une analyse comparative de nos résultats (avant et après recuit) :

L'évolution de la courbe de la dureté ( $H$ ) entre les deux bords du feuillard soudé par rapport au plan du joint dans les différentes zones (ZF, ZA, MB) se fait d'une manière symétrique par rapport ce plan du joint de soudure, d'une part et d'autre part il existe une certaine influence des points de soudage et de formage que nous pouvons expliquer ainsi :

### □ Zone fondue :

La fragilité de la zone fondue est reliée au maintien suffisant dans la phase de forgeage afin d'expulser les oxydes présents à haute température et par la austement de la vitesse de la ligne (soudage) ces différences sont reliées probablement à la présence de bavures lors de découpage et la géométrie de la coupe (épaisseur)

### □ Zone affectée thermiquement (ZA) :



Fig7 Transition entre Z.A. et Z.F

La variation de la répartition des contraintes résiduelles dans les deux bords de feuillard influent sur les caractéristiques métallurgiques (structure, taille, des grains) et mécanique ( $H$ ) dans cette zone probablement reliée au mauvais alignement des deux bords

### □ Matériau de base :

Une variation dans les deux zones adjacentes de la zone ZA a eu un léger durcissement dû aux contraintes de formage.

La figure 11 présente la transition entre la zone fondue et la zone affectée thermiquement du joint soudé nous distinguons très nettement les dendrites de la zone fondue ainsi que l'évolution de la taille de grain dans la zone affectée par la chaleur.

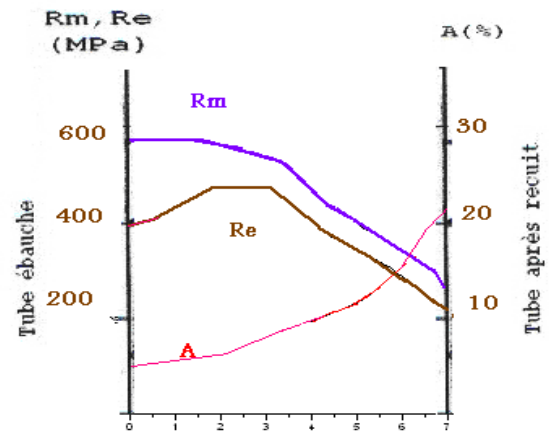


Fig.8: caractéristiques mécaniques des tubes avant et après recuit

### Cas des éprouvettes avant recuit

Nous avons constaté d'après les résultats obtenus pour les différentes éprouvettes (plates et tronçons) des tubes soudés avant recuit (leurs regroupés dans le tableau 2), que les propriétés mécaniques changent (voir Fig.8) et présentent :

- une augmentation des valeurs de la limite d'élasticité ( $R_e$ )
- une augmentation des valeurs de la résistance à la rupture ( $R_m$ )
- une diminution des valeurs de l'allongement à la rupture ( $A$ )

Ceci peut s'expliquer ainsi :

Avant que le tube prenne sa forme finale après soudage, l'acier subit des opérations de formage progressif par le passage des feuillards entre les galets de formage, ces feuillards sont courbés froid, celles-ci engendrent des déformations plastiques dues au dépassement de la limite d'élasticité de cet acier. Ces déformations ont pour conséquence un écrouissage du métal ou durcissement par déformation.

L'effet de l'écrouissage est d'accroître les propriétés de résistance (fragilité) la limite d'élasticité, la résistance à la rupture et la dureté, et de décroître les propriétés de ductilité : l'allongement et la résilience.

De plus le chauffage des résidus du tube par induction et l'opération de forgeage des bords qui s'ensuit, entraînent des concentrations des contraintes le long des joints soudés ce qui augmente la fragilité et cela se traduit par une détérioration des caractéristiques de l'acier, ceci est concrétisé par une augmentation de ( $R_e$ ,  $R_m$  et HRC) et une diminution de la ductilité ( $A$  et  $KC$ ).

Cas des prouesses après recuit

Par contre dans le cas des prouesses (produits finis) après recuit (voir tableau 3), nous constatons que les propriétés mécaniques de ces tubes finis se sont améliorées (voir Fig. 8), c'est-à-dire qu'il y a eu :

- une diminution des valeurs de la limite d'élasticité ( $R_e$ )

- une diminution des valeurs de la résistance à la rupture ( $R_m$ )

une augmentation des valeurs de l'allongement à la rupture ( $A$ )

Dans ce deuxième cas et après l'opération de laminage chaud qui consiste à réduire le diamètre du tube par tirage pour lui donner ces dimensions finales, suivi d'un traitement de relaxation pour libérer les tensions internes (contraintes résiduelles) bloquées dans le tube soudé et restaurer les caractéristiques mécaniques appropriées : (le terme de restauration désigne les phénomènes de réarrangements thermiquement activés au niveau de la microstructure dislocations qui se produisent en présence de traitements thermiques de recuit cette restauration produit généralement un effacement partiel ou total de l'écrouissage accumulé par la déformation). Donc après l'opération de recuit et afin de conférer la meilleure ductilité possible, l'acier récupère ses propriétés adhésives prescrites.

Cependant l'écrouissage, l'aplatissement sont des essais qui se chargent axialement, tous ces essais donnent à l'acier l'aspect de pouvoir résister des contraintes plus élevées le caractère uni-axial de ces essais limite naturellement leur capacité de détecter certains types de problèmes en soudures.

## Conclusion

L'objectif de notre étude a eu pour but de mettre en évidence le comportement structural et mécanique des aciers de construction martellés, qui sont destinés à la fabrication des tubes de différents diamètres (pour transport de gaz) par soudage induction haute fréquence. Et comme l'acier est un paramètre essentiel qui régit la soudabilité, il est donc nécessaire de sélectionner les propriétés mécaniques adaptées du matériau utilisé (E24 2) et de vérifier que cette nuance de fabrication mécanique répond aux exigences conventionnelles (propriétés de ductilité et propriétés de résistance équilibrées). En outre, la bonne connaissance du matériau utilisé est indispensable pour la réalisation d'une structure satisfaisante qui donne une garantie conception dimensionnement.

D'après les résultats obtenus avant et après recuit des tubes soudés, nous pouvons dire que les propriétés mécaniques du matériau étudié se sont améliorées après recuit de normalisation. Donc après cette opération de recuit et afin de confirmer la meilleure ductilité possible, l'acier récupère ses propriétés adaptées prescrites de références.

Le caractère uniaxial de ces essais limite réellement leur capacité de détecter certains types de problèmes en soudures.

Comme perspectives nous songeons inclure d'autres moyens de contrôle destructifs et non destructifs pour donner au problème une apparence qualitative

## Références

- 1 : Document usine n 1, Contrôle qualité Matériaux martellés essai de traction NF 10002 1(1990)
- (2): Document usine n 3, Contrôle qualité Matériaux Martelés, Essai de dureté sur tube NF EN10233 (fév. 1994)

