

Caractérisation des zones affectées thermiquement dans le soudage classique des aciers

Zineb MAOUADJ^{1*}, Mokhtar ZEMRI¹, Benattou BOUCHOUICHA¹

Laboratoire de Matériaux et Systèmes Réactifs

¹Département de Génie Mécanique, Faculté de Technologie. Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès. BP 89 ITMA Sidi Bel Abbès.

* auteur correspondant : zinebma02@hotmail.fr

Résumé -

Les caractéristiques locales du soudage par fusion sont soumises à des transformations à des températures très élevées. Ce phénomène engendre l'apparition « des zones de risques » après soudage, ce qui amène à des ruptures catastrophiques en service [1,2]. Ces ruptures auront lieu brusquement par fragilisation, par fatigue ou par corrosion sous contraintes [3]. La plus part de ces structures s'endommagent par transformation microstructurales dues à des températures de services très élevées. Cette situation provoque la chute de la résilience du matériau due à son fragilisation. Cette étude s'inscrit dans un projet de caractérisation des zones affectées thermiquement pour le soudage classique des aciers à partir d'une étude expérimentale qui consiste à étudier les propriétés mécaniques finales dans les différentes zones de la structure soudée (MB, MF et la ZAT) suivi par une comparaison des différents résultats trouvés dans les trois zones (ZF, MB, ZAT).

Mots Clés : ZAT, joint de soudure, résilience, ténacité.

1. Introduction

Les opérations de soudage des aciers s'accompagnent de phénomènes thermiques, métallurgiques et mécaniques. Ces phénomènes induisent inévitablement des changements dans les propriétés mécaniques dont le rôle peut être déterminant sur la qualité et la tenue mécanique du composant. En effet, et dans le cas du soudage, la zone affectée thermiquement qui se situe à proximité du cordon de soudure est siège à des gradients thermiques qui développent des contraintes traduisant l'incompatibilité des déformations dans la dite zone. Cette incompatibilité va en s'augmentant au fur et à mesure que la température s'élève, d'autant plus que les transformations de phases à l'état solide conséquences des températures élevées mises en jeu ne peuvent qu'aggraver cette incompatibilité du fait des différences de propriétés physiques des divers composés métallurgiques [4].

C'est pour ces raisons citées ci-dessus que ces dernières années un grand nombre de travaux a été réalisé, en vue d'une meilleure compréhension des phénomènes mis en jeu lors de ces types d'opérations. En effet, notre étude s'articule autour des conséquences mécaniques, nous présenterons une étude expérimentale qui consiste à évaluer la résistance aux chocs (résilience) des joints soudés et estimer la ténacité dans les conditions de service par passage résilience/ténacité dans la ZAT.

2. Présentation générale du Matériau utilisé

2.1. Choix du Matériau utilisé et du métal d'apport

Nôtre étude porte sur l'acier A510AP (P355NH), utilisé pour la fabrication des citernes à gaz (GPL). Pour cette raison de résistance nous avons choisit comme métal d'apport (EE) E7018, et le procédé de soudage utilisé est le soudage à l'électrode enrobée (EE).

2.2. Analyse chimique

Les analyses chimiques de l'acier A510AP et celles du métal déposé (Electrode enrobée) ont été effectuées sur deux échantillons (prélèvement mi épaisseur dans l'axe du joint), les résultats sont rassemblés dans le tableau (1). Les compositions chimiques mesurées sont représentatives des valeurs moyennes obtenues en fabrication.

Tableau 1 : Compositions chimiques de l'acier A510AP et du métal déposé.

Élément (%)	C	S	P	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	TI	V
A510AP	0.162	0.005	0.013	0.44	1.45	0.08	0.07	0.008	0.038	0.004	0,10
Métal déposé	0.068	0.012	0.014	0.38	1.40	0.025	0.035	0.012	0.05	0.006	0,0011

2.3. Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques de ce matériau sont enregistrées à partir d'un essai de traction au niveau de l'entreprise nationale des grands travaux pétroliers GTP (ELREGHAYA-ALGER). Cet essai est réalisé sur une machine spéciale qui enregistre les efforts et les allongements au niveau de l'entreprise nationale des grands travaux pétroliers GTP (ELREGHAYA- ALGER). Les résultats de cet essai sont justifiés par le fournisseur de la tôle allemand RUUKK. Ces dernières caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Propriétés mécaniques des trois zones du joint de soudure.

Matériaux	Propriétés mécaniques				
	Re (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)	A (%)	K	n
Métal de Base (MB)	297	499	28	980	0,401
Zone affectée thermiquement (ZAT)	480	631	35	836	0,302
Métal fondu (MF)	465	560	30	1009	0,508

3. Expérimentation

La connaissance des caractéristiques mécaniques déduites de l'essai de traction peut être insuffisante, puisque des ruptures peuvent être obtenues en dessous de la limite élastique. Un des moyens pour caractériser la fragilisation d'un métal sous l'action d'un choc est l'essai de résilience.

Dans notre étude ; les essais de résilience ont été réalisé sur des éprouvettes de l'entaille V (figure 1), sachant que cette entaille est réalisée sur les trois zones de joints soudure (figure 2).

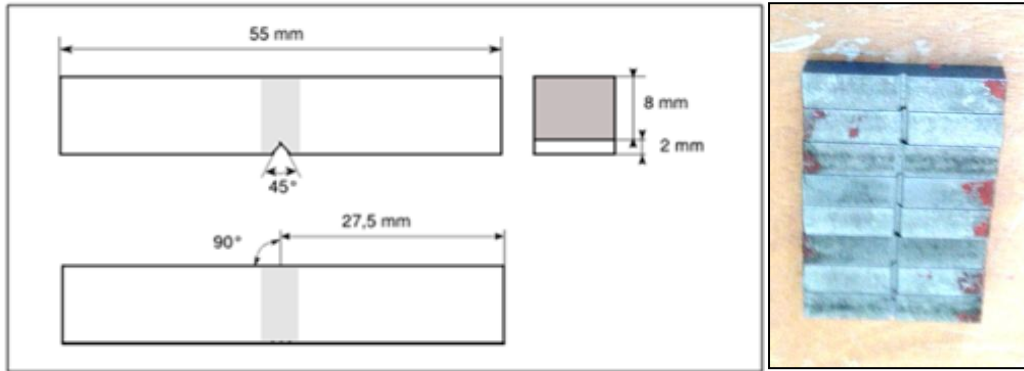


Figure1: Dimensions et forme de l'éprouvette de l'entaille en V pour l'acier A510AP

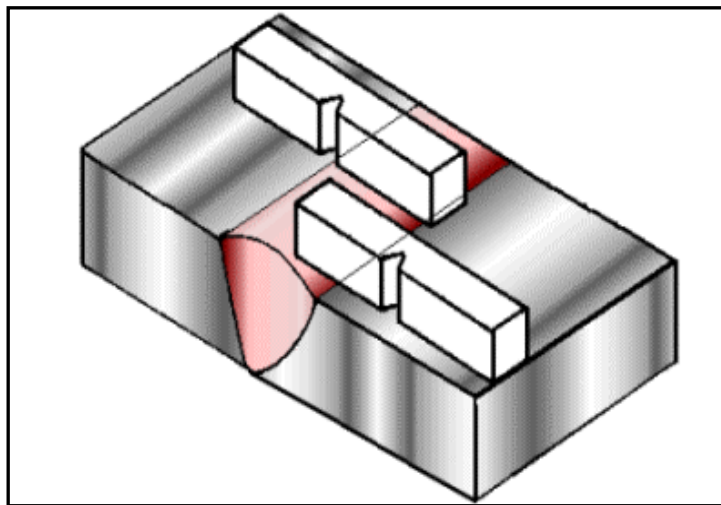


Figure2: localisation des éprouvettes dans un joint soudé

Les essais ont été effectués sur une machine appelée mouton pendule de type « RKP 450 » (figure 3).

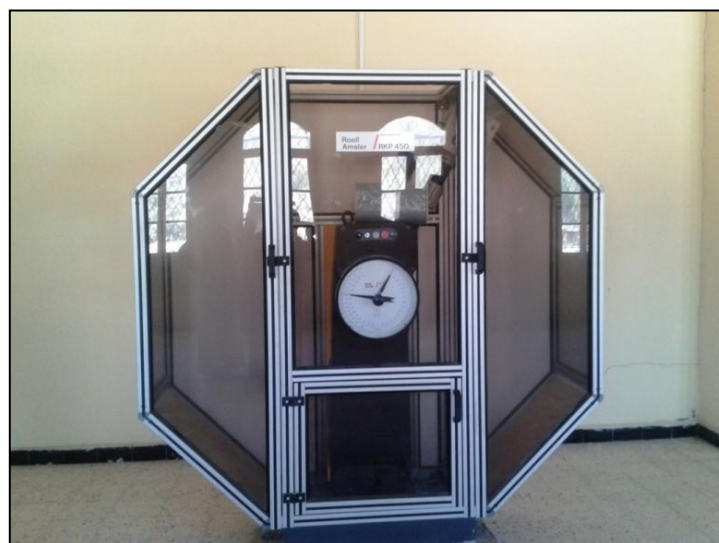


Figure3: RKP 450 - Moutons pendulent jusqu'à 450 joules

La plage de températures des essais devait permettre d'obtenir des mesures de la ténacité du palier inférieur jusqu'au début de la courbe de transition. Pour chaque température et chaque zone, une éprouvette a été utilisée. Le liquide réfrigérant utilisé pour abaisser la température des éprouvettes est l'azote associé à l'alcool (figure 4), et pour le chauffage des éprouvettes nous avons utilisé le four Nabertherm du laboratoire de matériaux du département de génie mécanique (figure 5).

Nous avons utilisé un thermomètre digital pour mesurer la température (figure 6).

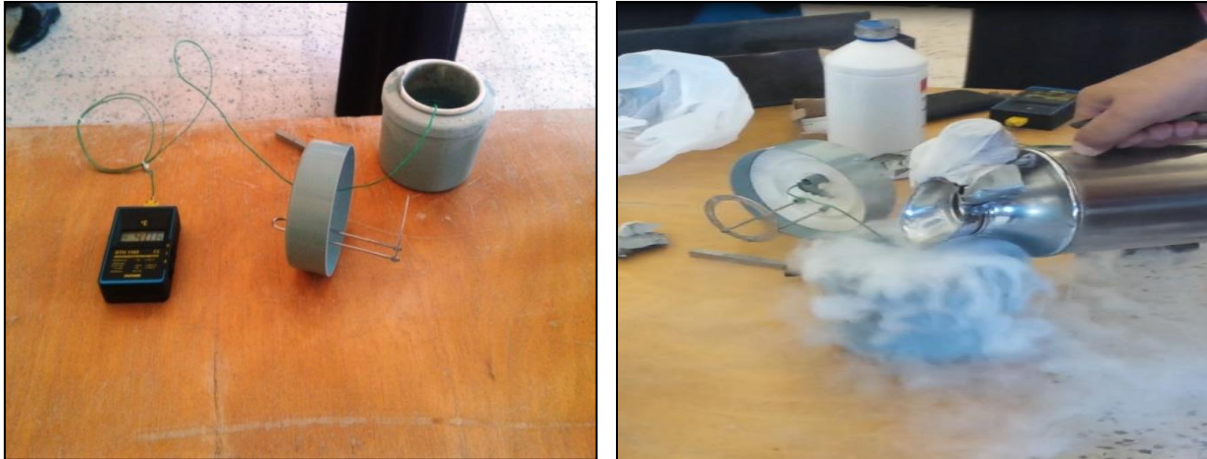


Figure 4: système de refroidissement à l'aide de l'azote



Figure 5: Système d'échauffement à l'aide du four



Figure 6 : Thermomètre Digitale

3.1. Discussions des résultats

Les résultats obtenus sont présentés par la (figures 7) ci-dessous. En comparant les résultats présentés dans ces figures, soit les valeurs mesurées, leur variation sur une gamme de température (de -50 à 70°C), la forme des courbes de transition évaluées pour les types d'éprouvettes testées et les valeurs minimales d'énergie de rupture, les conclusions suivantes peuvent être tirées

➤ Globalement les résiliences les plus faibles correspondent aux éprouvettes pour des gammes de température inférieure à zéro. La résilience semble augmenter jusqu'à la température ambiante (30°C) et reste pratiquement inchangé, ou une légère hausse pour les températures jusqu'à 70°C.

➤ A basse températures (inférieur à $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$), nous avons pratiquement obtenus le même ordre de grandeur de l'énergie dans les trois zones. La plage entre ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $10\text{ }^{\circ}\text{C}$) caractérise les températures de transitions, qui sont comme suite :

✓ Pour le métal de base MB cette transition est cerné entre ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$) ce qui explique que le palier de ductilité se stabilise avant $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ et par conséquent on parle de ductilité stable.

✓ Par contre pour la ZAT cette transition est cerné entre ($-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $10\text{ }^{\circ}\text{C}$), avec un crochet de pré stabilisation de ($10\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $20\text{ }^{\circ}\text{C}$), ce qui confère à cette zone un comportement moins stable que le métal de base. Ce phénomène indique qu'il ya un changement de structure.

✓ Pour le métal fondu MF, se situe entre les deux configurations.

Ces résultats concordent bien avec d'autres résultats réalisés sur des aciers de même familles [5-6]

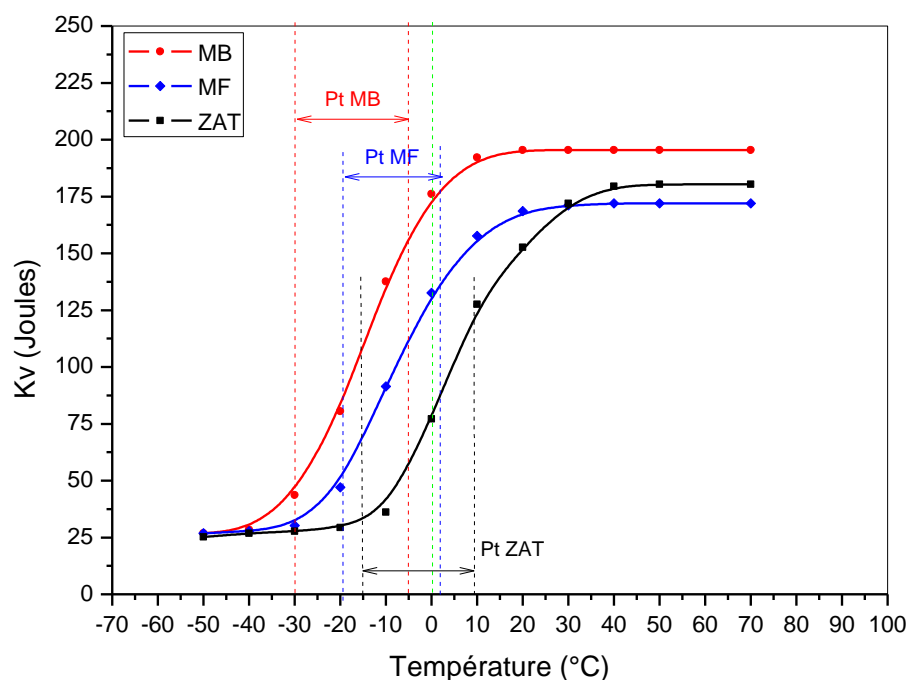


Figure 7: Courbe de résilience des trois zones (MB, MF et ZAT)

4. Corrélation entre résilience et ténacité

La température de transition ductile fragile est importante car elle permet de connaître les plages de température présentant un risque de rupture fragile pour les structures et elle sépare le domaine ductile, qui se caractérise par une déformation plastique et une énergie absorbée importante avant rupture, du domaine fragile où l'énergie dissipée est faible.

Des méthodes empiriques d'évaluation de la ténacité à partir de la résilience ont été développées mais elles ne sont pas basées sur l'observation des phénomènes physiques et peuvent conduire à des marges excessives. Les relations utilisées pour ce passage est données par l'institut de soudure (IS) :

La relation empirique suivante de **Barsom, Rolf** (voir équation 1) ; elle est utilisée pour les deux zones (fragile et ductile).

$$\left(\frac{Kc}{Re}\right)^2 = \frac{1}{\left(\frac{\pi^4}{2}\right)} \left[100 \left(\frac{Kv}{Re}\right) - 1\right]$$

L'énergie nécessaire pour la rupture d'un échantillon standard pendant l'essai de résilience d'Izod diminue de manière importante si on diminue la température au-dessous 0°C. On voit aussi que la détermination de T_{fd} n'est pas très précise mais elle est décalée vers les températures moyennes (-15 à -5°C) et que le niveau du plateau ductile décroît. Pour la caractérisation de cette transition, on utilise aussi l'analyse de la surface de rupture. On peut facilement distinguer entre eux les endroits où la rupture a procédé par des mécanismes de rupture ductile.

La transition se produit sur une certaine plage de température. Il n'y a pas de critère généralement utilisé pour la définition de T_{fd} d'autant plus que la température de transition dépend de l'essai effectué (traction, torsion ou résilience). Le plus souvent, T_{fd} est définie comme la température minimale pour laquelle la surface de rupture présente un aspect 100% ductile.

Les résultats présentés par la (figures 9) sont obtenus par l'introduction d'un facteur d'incertitude (distribué selon une loi de distribution de Weibull, loi du minimum) dans la corrélation de Wallin. Les estimations de la ténacité minimales, moyennes pour les trois zones sont relatives aux résultats de résiliences.

Nous remarquons que pour des faibles températures une ténacité moyenne stable pour les trois zones. Dans la phase de transition, on remarque une évolution logique mais inversement proportionnelle aux lois de comportement des trois zones, ce qui caractérise les aciers travaillant sous pression. A partir 0°C les valeurs de ténacité se stabilisent, avec des valeurs plus élevées dans le métal de base (MB) que pour le métal fondu (MF), avec des valeurs moins pour la ZAT. Par conséquent les paramètres utilisés par Wallin pour la loi de distribution de Weibull paraissent raisonnables.

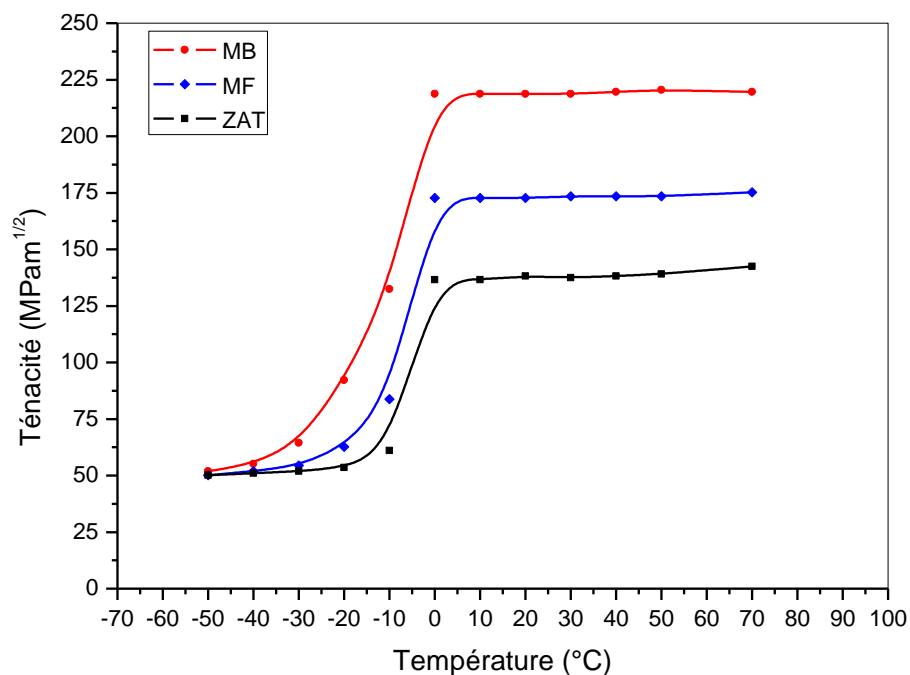


Figure 9: Courbe de ténacité des trois zones (MB, MF et ZAT)

5. Conclusion

Cette étude s'inscrit dans un projet de compréhension globale des différents phénomènes rencontrés lors du soudage. Elle a été conduite selon une démarche expérimentale pour contrôler les caractéristiques mécaniques dans les différentes zones du joint soudé

Les résultats obtenus par les essais mécaniques permettent de tirer les conclusions suivantes :

- La limite d'élasticité, supérieur dans la ZAT à celle du métal d'apport MF qui est supérieur à celle du métal de base.
- Les résiliences les plus faibles correspondent aux éprouvettes pour des gammes de température inférieure à zéro. La résilience semble augmenter jusqu'à la température ambiante (30°C) et reste pratiquement inchangé, ou une légère hausse pour les températures jusqu'à 70°C.
- La même chose pour la ténacité moyenne, elle stable pour les trois zones pour des faibles températures.

Références

1. Lucjan Witek, Engineering failure analysis, Vol.13, Issue 4, (June 2006), p572, 581.
2. Blondeau, Procédés et applications industrielles du soudage, France (2001), Edition Lavoisier.
3. H. Granjon, base métallurgique de soudage, Publication du soudage et ses applications, (1995) 2^{ème} ED.
4. Z. Saber, Modélisation de la plasticité de transformation dans les phases de transformation. Thèse de magister : université Mentouri-Constantine (2006).
5. B. Bouchouicha, Estimation of the energy of crack propagation in different zones of a welded joint by the local technique, International Journal of Fracture, (Springer 2015), ISSN 0376-9429.
6. A. Slimane, Contribution to the Study of Fatigue and Rupture of Welded Structures in Carbon Steel-A48 AP: Experimental and Numerical Study, Trans Indian Inst Met, (Springer 2014).