

Caractérisation mécanique et microstructurale de structures soudées par points en acier à effet TRIP

Mustapha SEGHIR¹, Mohand OULD OUALI^{2*}

¹Laboratoire Elaboration et Caractérisation des Matériaux et Modélisation (LEC2M).

Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, BP 17 RP. 15000 Algérie

* Auteur correspondant : seghir_mustapha@yahoo.fr

Résumé –Ce travail est consacré à l'étude de structures en acier à effet TRIP soudées par points. Nous nous sommes d'abord intéressés à la caractérisation mécanique et microstructural de l'acier à effet TRIP AISI304L. Puis nous avons réalisé des structures soudées par point avec différentes configurations de soudage. Ces structures ainsi obtenues ont été testées selon différents modes de chargements. La microstructure de la Zone Affectée Thermiquement (ZAT) au niveau du point soudé a été caractérisée. La résistance mécanique de chaque configuration a été déterminée.

Mots Clés : Caractérisation mécanique, microstructure, acier à effet TRIP, soudage par point.

1. Introduction

Le soudage par résistance par points est un procédé d'assemblage très couramment utilisé dans l'industrie automobile. Il présente l'avantage d'être à la fois rapide, économique et adapté au soudage des aciers, principaux matériaux utilisés dans les structures de caisse en blanc automobiles. Un véhicule contient typiquement entre 3000 et 5000 points soudés. La tenue mécanique de l'assemblage final dépend non seulement des propriétés mécaniques intrinsèques des matériaux, mais aussi de celles des liaisons soudées, par lesquelles transitent les efforts. Il est donc nécessaire de disposer d'outils permettant d'étudier le comportement mécanique des points soudés par résistance.

2. L'acier à effet TRIP 304L

Le matériau utilisé est un acier austénitique instable de type 304L (selon la norme AISI et X2CrNi18-9 selon AFNOR) est commercialisé sous forme de tôles minces d'épaisseur 3mm. Le (L) signifie que l'acier a une faible teneur en carbone.

2.1 Composition chimique

Le tableau(II.1) affiche la composition chimique de l'acier selon la fiche technique.

Le tableau 1 : caractéristique chimique de l'acier AISI304L

Désignation	C	Cr	Ni	Si	Mn	P	N	S
Elément%	≤ 0.03	8 -20	8-12	0.45	1.31	0.025	0.056	0.005

2.2 Caractéristiques mécaniques

Le comportement mécanique de l'acier TRIP 304L est obtenu en réalisant des essais de traction sur des éprouvettes prélevées à partir d'une tôle selon les trois directions : la direction de

laminage (0°) et les directions formant 45° et 90° par rapport à la direction de laminage. Ces éprouvettes sont découpées selon la norme DIN (figure 1).

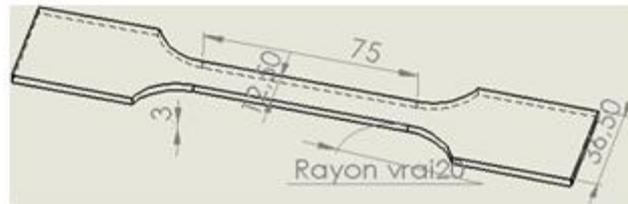


Figure 1 : éprouvette de traction matériau de base

Le tableau 2 représente les caractéristiques mécaniques de l'acier inoxydable AISI304L.

Tableau 2 : Caractéristiques mécaniques de l'inox AISI304L

recuit	R _{0,2} (MPA)	R _m (MPA)	A(%)	[HV]
Recuit	190	500-600	45	150-180
Ecrouissage maximal	965	1275	4	390

3. Comportement mécanique des structures soudées

3.1. Géométries des éprouvettes

Quatre (04) configurations d'éprouvettes soudées ont été adoptées dans cette étude :

- a- Eprouvette en croix de traction: la géométrie est définie par la norme ISO[03] (figure 2)

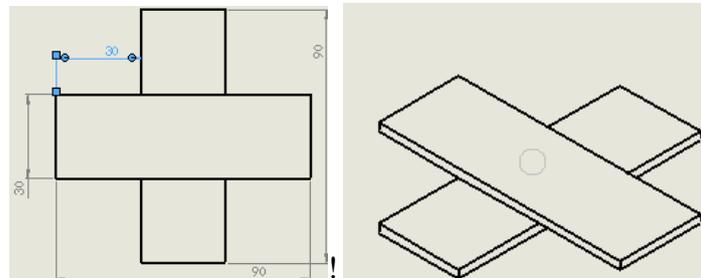


Fig. II.2. Éprouvette en croix

- b- Eprouvette droit de traction-cisaillement : la géométrie de l'éprouvette est définie par la norme ISO 14234

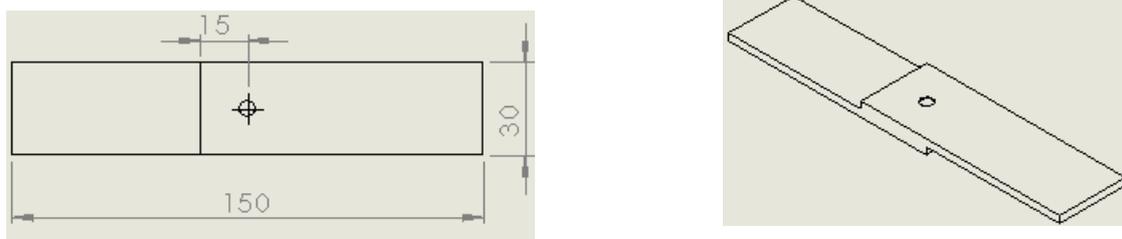


Figure 3 : Eprouvette droit

c- Epreuve de traction et pelage: la géométrie de l'éprouvette de traction voir (figure 4) est définie par la norme ISO 14234 la géométrie de l'éprouvette pelage est définie par la norme [LON07] (figure 5)

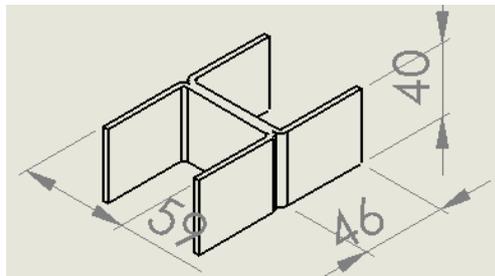


Figure 4 : Epreuve en

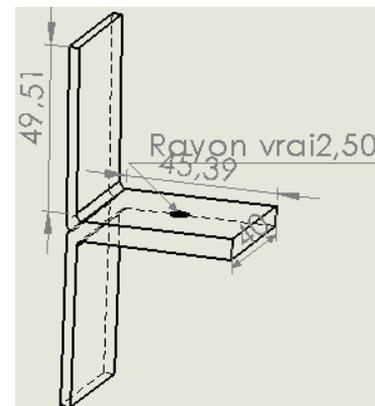


Figure 5 : Epreuve

Des dispositifs adaptés pour chaque éprouvette ont été réalisés afin de tester sur la machine de traction IberTest les structures soudées présentées dans cette section.

3.2. Déroulement des essais mécaniques

Les essais sont réalisés dans les conditions suivantes : $V = 10\text{mm/mn}$; $T = 20^\circ\text{C}$; $V_{ch} = 100\text{N.S-1}$.

Les dimensions des éprouvettes sont explicitées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 9 : condition de déroulement des essais mécanique

Eprouvette	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur (mm)
Traction	75	12.5	3
Traction-cisaillement	80	30	3
Traction eu U	100	120	3
Pelage	50	120	3
Traction en croix	6	5	3

4. Analyse microstructural

4.1. Préparation des échantillons

Les échantillons pour l'étude microstructurale ont été découpés sur la tôle sous forme de rectangle. Les échantillons une fois découpés, puis enrobés. Un polissage mécanique est alors réalisé, en semi finition et une Finissage a l'aide de l'alumine AL2O3. Pour révéler la morphologie des différentes phases présentes ainsi que les joints de grains austénitiques un polissage est réalisé avec une solution d'acide oxalique, sa composition chimique est de 10g de C2H4O4 et 100ml H2O.

A l'état initial, le matériau est un poly cristal monphasé constitué de grains austénitiques obtenus après polissage et attaque électrolytique. La morphologie de la martensite (ϵ) est différente de celle de la martensite lenticulaire figure III.11, elle adopte la forme de bandes parallèles. L'essai s'effectue sous l'air, alors, on a observés le phénomène d'oxydation même si c'est un acier inoxydable.

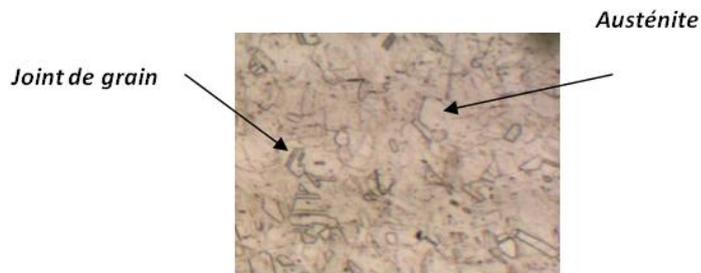


Figure 6: Micrographie optique de l'acier Inox 304L à l'état initiale.

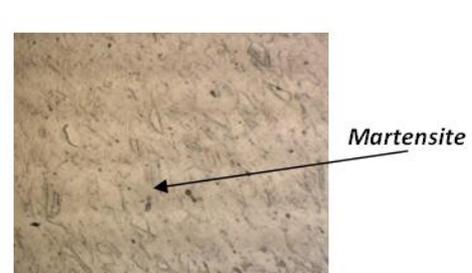


Figure 7: Micrographie optique de l'Inox X2CrNi18-9 après déformation

4.2. Résultats de la caractérisation mécanique de métal de base

L'ensemble des résultats sont directement obtenus par une chaîne d'acquisition et enregistrés sur un micro-ordinateur. A partir de l'enregistrement, on établit un diagramme rationnel de la forme : $\sigma = f(\epsilon)$ qui est la contrainte en fonction de la de la déformation suivant les trois directions à savoir la direction de laminage et a 45° par rapport a cette direction

4.2. 1. Comportement à 45° par apport à la direction de laminage

Cette figure représente le comportement mécanique pour l'éprouvette à 45° direction de laminage

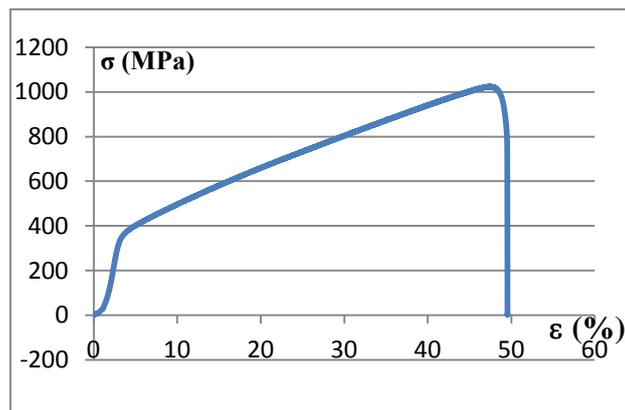


Figure 8. Courbe de traction à 45° direction de laminage

4.2. 2. Comportement à 90° direction de laminage

Cette figure représente le comportement mécanique pour l'éprouvette à 90° direction de laminage

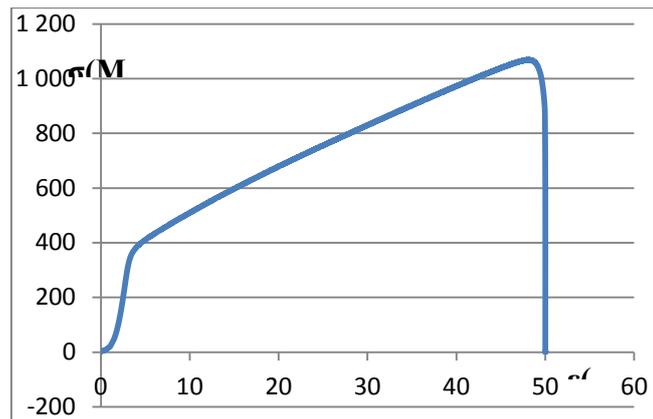


Figure 9. Courbe de traction à 90° direction de laminage

4.2. 3. Comportement à 0° par rapport à la direction de laminage

Le comportement mécanique de l'éprouvette dans la direction de laminage à la température $T= 20^{\circ}$ et pour une vitesse de déformation $V= 10\text{mm/mn}$, est représenté comme suit.

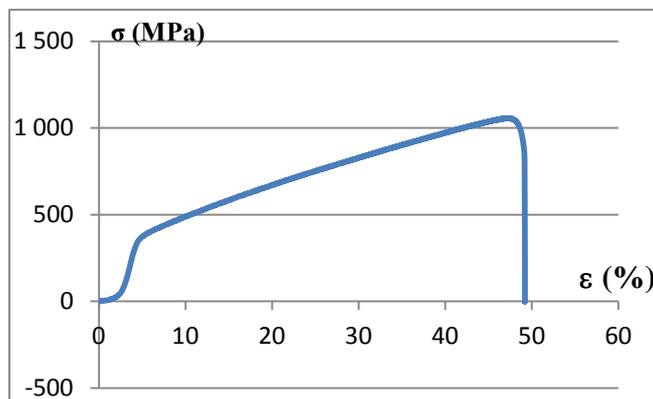


Figure 10. Courbe de traction à 0° direction de laminage

5. Comportement mécanique des assemblages soudés

La figure. 11 représente le comportement mécanique pour l'éprouvette droit de traction-cisaillement et la figure. 12 représente comportement sur l'éprouvette de pelage.

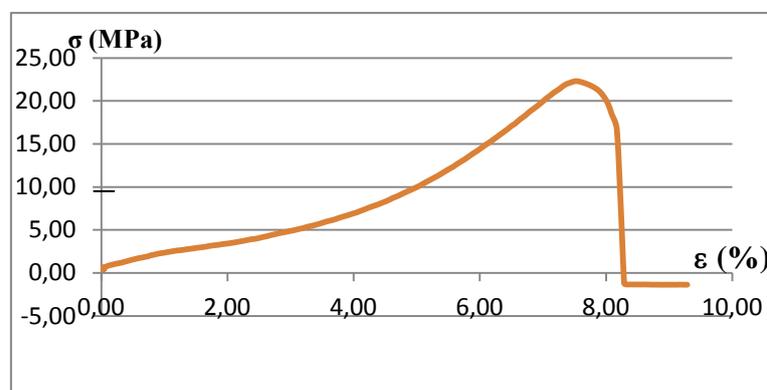


Figure 11 : Courbe de traction-cisaillement

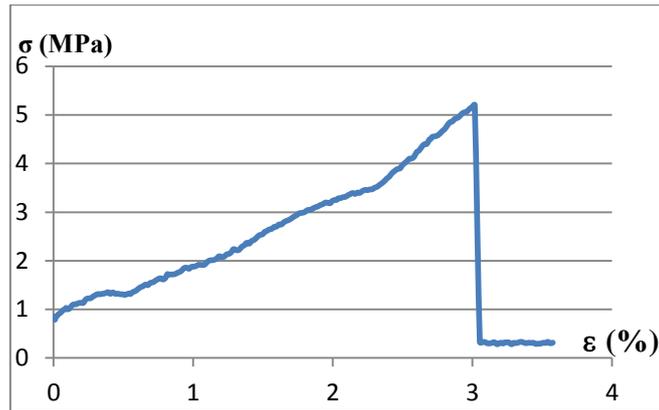


Figure 12 : Courbe de comportement mécanique en pelage

a- Comportement mécanique de l'éprouvette en U

Cette figure représente le comportement mécanique l'éprouvette en U :

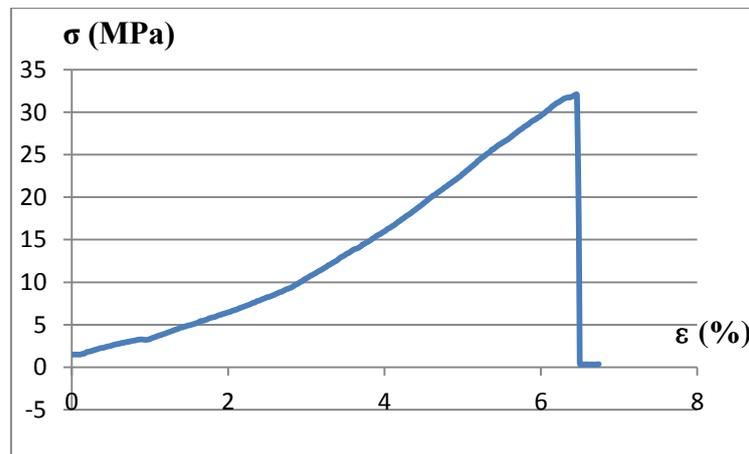


Figure 13. Courbe de traction en U

b- comportement mécanique en traction sur des éprouvettes en croix

Dans le but de faire une caractérisation locale de point soudé, on a réalisé un essai de traction sur une éprouvette soudée en croix.

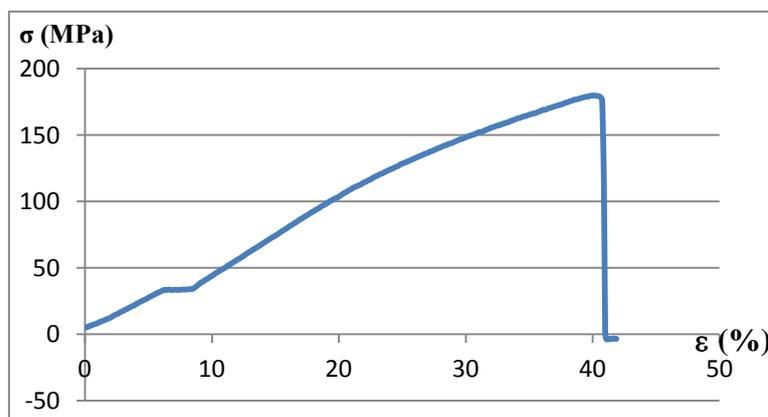


Figure 14. Courbe de traction

On remarque sur l'ensemble des courbes une partie non-linéaire jusque à la rupture. La rupture est brutale et totale sur l'interface de point soudé, elle se produit à un niveau de contrainte différent selon le type d'assemblage. On explique ça par la trempabilité de matériau et la fragilité des phases formées après soudage.

6. Influence des paramètres de soudage

Afin de montrer l'influence des paramètres de soudage sur la teneur mécanique de point soudé, on a varié l'intensité de courant pour deux éprouvettes de même type d'assemblage (assemblage en U), et les valeurs sont mentionnées dans tableau suivant :

Tableau6 : paramètres de soudage de l'éprouvette en U

Eprouvette	Intensité de courant (KA)
1	14
2	10

En premier lieu on remarque une influence sur le diamètre de point soudé, en effet, le diamètre 1=5mm et le diamètre 2 = 7mm. On a réalisé des essais de traction sur chaque assemblage. L'intensité de courant augmente le diamètre de point soudé. Le comportement mécanique de point soudé peut être influencé par un certain nombre de facteurs : La géométrie de point soudé, le mode de sollicitation de point soudé et espacement entre les mors de la machine de traction.

7. Caractérisation micrographique de points soudés

Pour connaître l'influence de l'opération de soudage sur la microstructure de métal de base, on a réalisé des observations micrographiques qui incluent trois zones qui sont le métal de base la zone affectée thermiquement (ZAT) et le noyau fondu, et les résultats des observations voir (figure 11).

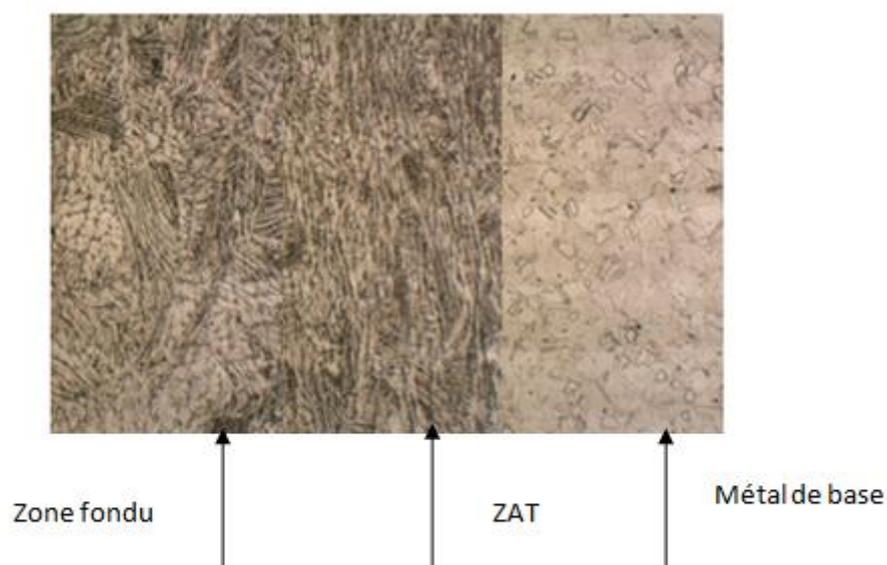


Figure 15 Microstructure de point soudé

- a- La zone associée au métal de base **MB** : la température atteinte dans cette zone est restée en dessous de celle de l'austénitisation si bien qu'on ne détecte pas de modification structurale visible.
- b- La zone affectée thermiquement **ZAT** : on remarque que la microstructure obtenu après refroidissement rapide est martensitique sous forme des lamelles qui deviennent grossières à la périphérie de la zone fondue, cette différence de morphologie peut être expliqué par la différence de la température au cours de soudage, en effet, elle est plus élevée dans la zone avec des lamelles fines.
- c- La zone fondu **ZF** : on observe une microstructure martensitique sous forme des lamelles fines.

7.1. Essai de dureté sur le point soudé

Pour confirmer les résultats de l'observation micrographique on a réalisé des essais de dureté sur l'ensemble des zones du point soudé qui sont : la zone fondue, la zone affectée thermiquement et le métal de base, et les résultats sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau7 : Résultats de l'essai de dureté sur le point soudé

Zones	Zone fondue (ZF)			Zone affectée thermiquement (ZAT)			Métal de base (MB)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Essai	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Dureté	31 5.6	328 .12	323 .55	359 .09	362 .70	350 .40	170 .22	175 .47	165 .47
Moyenne	322.42			357.93			170.38		

Les résultats obtenus après essais, montre que la dureté de la zone fondu est supérieure à celle de la zone affectée thermiquement et largement supérieure à celle du métal de base, et ça confirme les résultats micrographique, en effet, la martensite plus fine est plus dure que la martensite grossière, et nettement plus dure que l'austénite.

8. Etude des facies de rupture (microscope électronique à balayage)

8.1. Facies de rupture (métal de base)

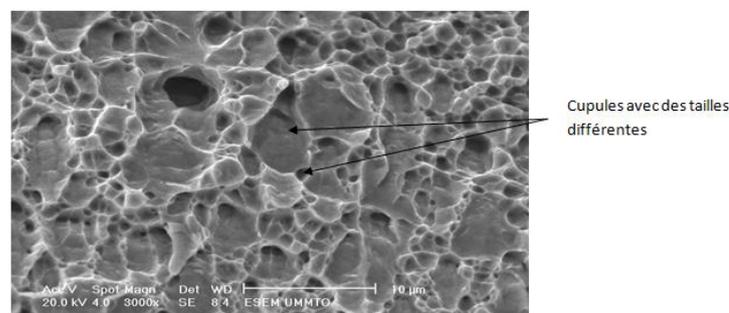


Figure 16. Facies de rupture de métal de base

L'observation montre un facies constitué des cupules détaillées différentes orienté suivant la direction de traction.

8.2. Facies de rupture (point soudé)

Trois points d'observations microscopiques à balayage des faciès de rupture de point soudé.

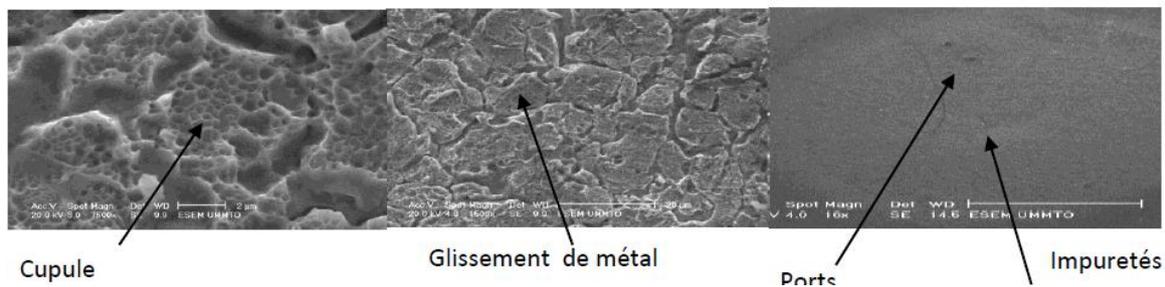


Figure 17. Observation microscopique à Balayage de point soudé avec différents agrandissements présente une rupture fragile avec alvéoles renfermant des précipités. La structure comporte aussi des défauts tels les cavités, les impuretés, les portes ainsi on constate un glissement du métal dans le sens de la sollicitation.

9. Conclusion générale

Ce travail porte sur l'étude de comportement mécanique d'un point soudé en acier à effet TRIP AISI 304L soumis à différents modes de sollicitation. Nous avons d'abord réalisé une caractérisation mécanique et microstructurale du matériau de base (AISI 304L). Dans le but de mettre en évidence le comportement élasto-plastique de matériau ainsi que sont anisotropie, on a réalisé des essais de traction sur des éprouvettes prélevées selon trois directions par rapport au sens de laminage. Les caractéristiques intrinsèques sont différentes selon le sens de découpage de la tôle, donc le matériau est anisotrope. L'observation microscopique a révélé que le métal de base est un poly cristal monophasé constitué des grains austénitiques. Après 100% de déformation la structure est devenu martensitique avec de l'austénite résiduelle conséquence de l'effet TRIP.

Par la suite, des essais de caractérisation mécanique et microstructural ont été réalisés sur le point soudé. Dans un premier temps le point soudé a été testé avec différents modes de sollicitation, qui sont la traction cisaillement, la traction en U, la traction en croix et l'essai de pelage. L'ensemble des courbes ont présenté un comportement fragile des points soudés, avec une rupture qui se produit à un niveau de contrainte différent selon le mode de sollicitation. L'influence des paramètres de soudage sur la tenue mécanique du point soudé, ont été également testées par la variation de courant de soudage sur un même type d'assemblage, en effet, l'augmentation de courant de soudage augmente le diamètre de point soudé donc les propriétés mécaniques.

Références

1. ArcelorMittal, Aciers TRIP (transformation Induced Plasticity), 2012
2. Mohamed RedaBerrahmoun, transformation martensitique et rupture différée dans l'acier austénitique Instable 301LN 2006
3. Bagher Mohammed Sadeghi (Analyse et Identification du Comportement Mécanique d'Aciers à effet TRIP à partir de Mesures de Champs Cinématique), thèse.
4. J. Paul Bailon, J. Marie Dorlot « des matériaux » «3eme édition 2000-2001
5. G . Beranger, G. Henry, G. Sanz .« livre de l'acier», Ed. SOLLAC, 1996
6. A. Roos, B. Milet. « Précis de Métallurgie Appliquée», édition technique et documentation, Lavoisier.

7. Gaetan MONARI, sélection de modèles non linéaire par leave-one-out Etude théorique et application des réseaux de neurones au procédé de soudage par points
8. Drouat C, Soudage par Résistance, Publication du Soudage et des Applications, 1993
9. Chainarong Srikunwong, modélisation du procédé de soudage par Point, thèse
10. Frederique Rossillon influence des conditions de soudage sur le comportement en fatigue d'un acier TRIP dual Phase soudé par point, thèse.
11. Comportement mécanique des soudures par point ; mécanisme et stratégie de prédiction dans le cas des tôles en aciers pour automobile (Sylvain Dancette).
12. M. MARYA A, K. WANG, L. G. HECTOR, X. GAYDEN, Tensile shear forces and fracture modes in single and multiple weld specimens in dual-phase steels, journal of Manufacturing Science and Engineering, vol. 128, pp. 287-298, Feb. 2006