

Modélisation numérique du comportement mécanique d'un joint soudé par friction malaxage sur une éprouvette en alliage d'aluminium 5251 H14.

Y. Kambouz¹, M. Benguediab¹, B. Bouchouicha¹, F. Z. Messabih¹.

1-Laboratoire des Matériaux et systèmes réactifs- Département de Génie Mécanique- Faculté des Sciences de l'Ingénieur- Université de Sidi Bel Abbès.

Auteur Correspondant: y_kambouz@yahoo.fr

Résumé :

Les assemblages soudés par friction-malaxage (Friction Stir Welding- FSW) présentent un avantage majeur qui est l'absence du métal d'apport. Ce procédé contribue au soudage des matériaux réputés pour être difficilement soudables par les techniques classiques souvent utilisés dans le domaine du transport et particulièrement dans la carrosserie automobile en appliquant un soudage par point. Il n'existe pas de modèle 'robuste' de dimensionnement des assemblages. Les codes de calcul, ou les estimations qui peuvent être faites incluent et se limitent le plus souvent à un coefficient de sécurité élevé. On envisage, d'étudier, de modéliser et de fournir des outils de dimensionnement fiables en termes de comportement mécanique.

Mots-clefs : FSW, alliage d'aluminium 5251H14, paramètres de soudage, Caractéristiques mécaniques

1. Introduction.

Le FSW est reconnu comme une technique d'assemblage qui permet d'éviter les défauts de soudage puisqu'au cours de la soudure le matériau demeure à l'état solide. Le procédé peut être réalisé pour plusieurs types de joints soudés tels que les joints de recouvrement et les joints bout à bout communément utilisés dans l'assemblage des tôles minces. Le soudage par friction-malaxage (FSW) a émergé comme un processus à l'état solide prometteur avec la possibilité de joindre des alliages d'aluminium traditionnellement considérés comme insoudables [1].

L'objectif dans ce travail est d'étudier les effets des paramètres de chargement sur le comportement mécanique, dans les différentes zones d'un cordon de soudure par friction malaxage et déterminer la zone la plus faible dans le cas d'un alliage d'aluminium 5251 soumis à un traitement de type H14.

2. Caractéristiques mécaniques

2.1. Présentation du matériau

Le matériau utilisé est un alliage d'aluminium de la série 5000 à durcissement par écrouissage soumis à un traitement de type H14 (déformé à 25% par laminage), il nous servira à comprendre les différents phénomènes qui se produisent durant le soudage sans faire intervenir la précipitation. Cet alliage a été choisi car il possède de bonnes propriétés mécaniques sa composition chimique est présentée dans le tableau 1 et ses propriétés mécaniques dans le tableau 2.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.4	0.5	0.15	0.1-0.5	1.7-2.4	0.15	0.15	0.15	Reste

Tableau 1: composition chimique de l'alliage d'aluminium 5251.

Nuance	metallurgic state	R_m [MPa]	R_p [MPa]	A %	E [MPa]	H_v
5251 [Al-Mg ₂]	H14	210	170	3-5	70000	84-85

Tableau 2: Propriétés mécaniques de l'alliage d'aluminium 5251.

2.2. Micro-dureté

L'optimisation du procédé nécessite qu'une caractérisation mécanique des joints soit effectuée. La pratique la plus couramment utilisée est la mesure de la microdureté qui nous donne une première évaluation des propriétés mécaniques dans les différentes zones du joint, afin d'obtenir un profil dans l'ensemble de ce dernier et d'établir où se trouvent les zones les plus faibles.

Des études ont montré que la forme du profil varie peu en fonction de l'épaisseur de la tôle à souder, par contre elle est affectée par l'apport de chaleur auquel sont soumises les pièces à souder [2].

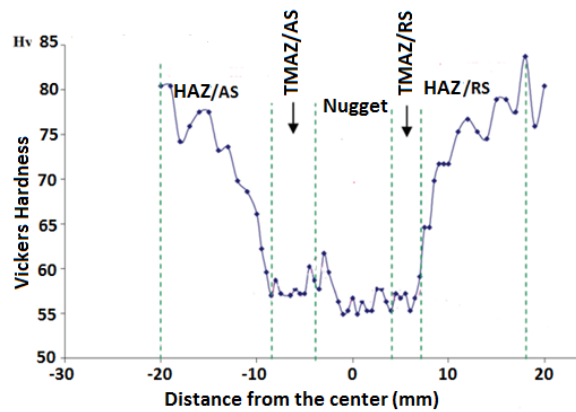


Figure 1 : profil de dureté du 5251 H14.[2].

Le joint de soudure est composé de plusieurs zones ayant chacune des propriétés mécaniques différentes et une microstructure propre [3]. La figure 2 montre que la structure granulaire dans le noyau est fine et équiaxe, cela est dû au phénomène de restauration et recristallisation dynamique totale qu'a subi cette zone et explique l'augmentation de la dureté par rapport à la zone affectée thermomécaniquement (ZATM) qui présente une microstructure granulaire plus grossière due à une restauration partielle seulement et les dislocations n'ont pas été éliminées complètement dans cette zone.

La Zone affectée thermiquement (la plus proche du métal de base) présente une microstructure identique à celle du métal de base car cette zone n'a subi aucune déformation lors du soudage.

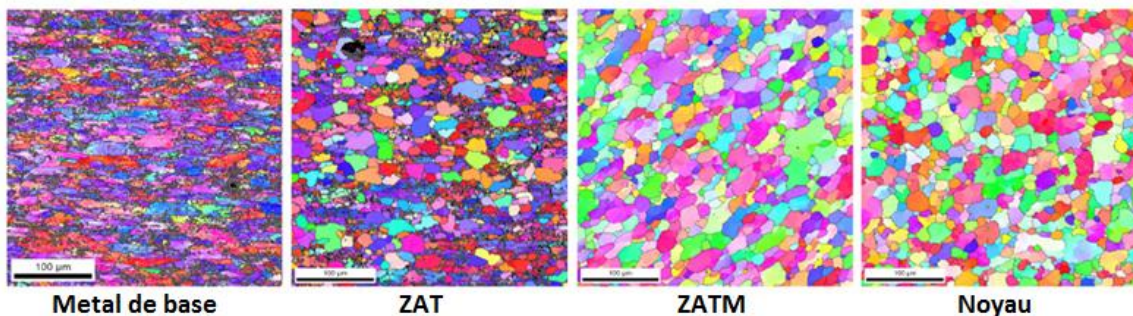


Figure 2 : Microstructure des différentes zones du cordon de soudure de l'alliage 5251 H14 [3].

3. Développement d'outil numérique pour la modélisation du comportement mécanique.

La soudure modélisée est divisée en plusieurs zones pour lesquelles on affecte un comportement mécanique différent. Pour cela, nous avons utilisé les propriétés mécaniques de Cécile Genevois [2].

Dans notre modèle, les zones sont parfaitement solidaires les unes des autres, le déplacement est continu et la contrainte normale est transmise. Pour un chargement uniaxiale d'amplitude $P = 40$ MPa. L'éprouvette utilisée pour la simulation est représentée par la figure 3.

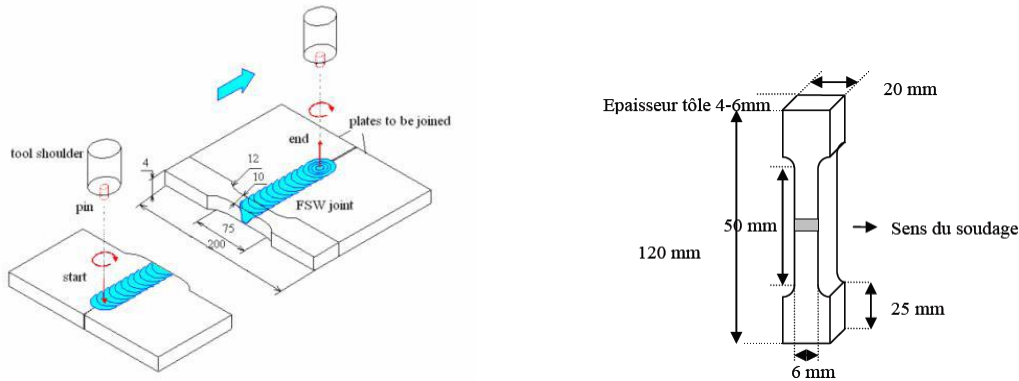


Figure 3: Forme et dimensions d'une éprouvette prélevée perpendiculairement à la direction du soudage. La soudure est représentée par la zone grise [2].

3.1 Essai de traction

Le recours à l'essai de traction est courant pour caractériser mécaniquement les joints soudés. De manière générale, les propriétés métallurgiques des différentes zones du joint varient en fonction de l'apport de chaleur déterminé par les paramètres de soudage telle que la vitesse de rotation de l'outil et sa vitesse d'avance (vitesse de soudage), par la forme de l'outil et l'état métallurgique initial de la pièce à souder [4] [5] et [6].

Le profil de la dureté a habituellement la forme caractéristique d'un « W » pour les alliages à durcissement structural. On observe une perte de dureté importante dans la ZAT causée par une croissance des précipités, ainsi qu'une perte de dureté moins prononcée dans le noyau, où la dissolution des précipités est suivie d'une reprecipitation qui tend à ramener la résistance mécanique au niveau de celles du métal de base.

Par contre, dans les alliages des séries 1000, 3000 et particulièrement la série 5000, la précipitation n'a aucun effet sur le profil de dureté et c'est la concentration des dislocations présentes dans ces alliages qui le gère.

Pour la série 5000, l'état initial influe sur le comportement mécanique, car pour un état initialement écroui le profil de dureté est pratiquement linéaire et on observe une légère augmentation de celle-ci lorsqu'on se rapproche du noyau. Alors que pour un état recuit la forme du profil est celle d'un W. En se rapprochant du noyau on observe tout d'abord une diminution de la dureté dans la zone affectée thermiquement (ZAT), puis dans la zone affectée thermomécaniquement (ZATM) où, on enregistre la plus faible dureté. La dureté augmente ensuite légèrement dans le noyau suite aux phénomènes de restauration et de recristallisation qui se produisent dans cette zone durant le soudage.

3.2 Simulation du comportement global en traction d'un joint soudé.

Les propriétés mécaniques locales ont été déterminées par des essais de traction sur des micro-éprouvettes [2]. Les résultats de ces essais nous ont permis de simuler le comportement global en traction par le biais du code de calcul par éléments finis en 3 dimensions, ABAQUS.

La structure soudée bout à bout est soumise à un chargement de traction uniaxiale avec une contrainte uniformément répartie d'amplitude $P=40\text{MPa}$.

3.3 Modélisation de l'éprouvette

La soudure modélisée a une taille identique à celle des macro-éprouvettes. Elle est divisée en plusieurs zones pour lesquelles on affecte un comportement mécanique différent. Les éprouvettes modélisées ont la même taille que celles découpées pour les essais de traction Figure 4.

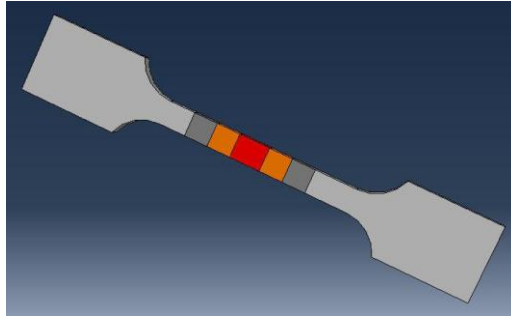


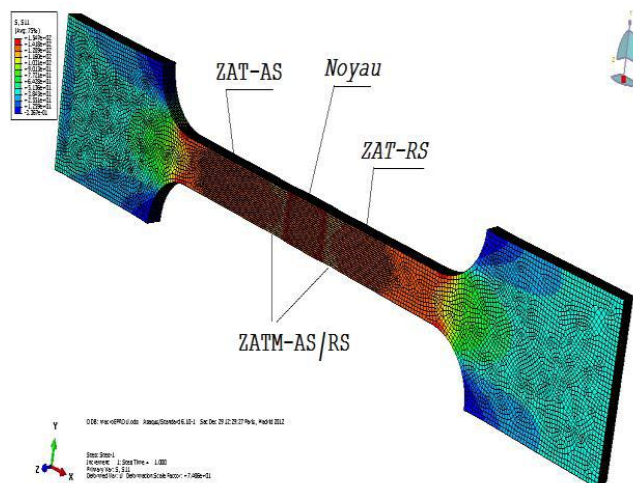
Figure 4: Modélisation de l'éprouvette à l'aide d'ABAQUS.

Nous pouvons remarquer les différentes zones colorées différemment.

- Noyau en couleur rouge
- ZATM couleur orange
- ZAT couleur gris foncé
- Métal de base en gris

4. Résultats et analyses

Sur la figure 5 est représentée la distribution des contraintes dans les différentes zones de soudage il faut rappeler que le comportement d'une zone peut dépendre des propriétés des zones voisines.



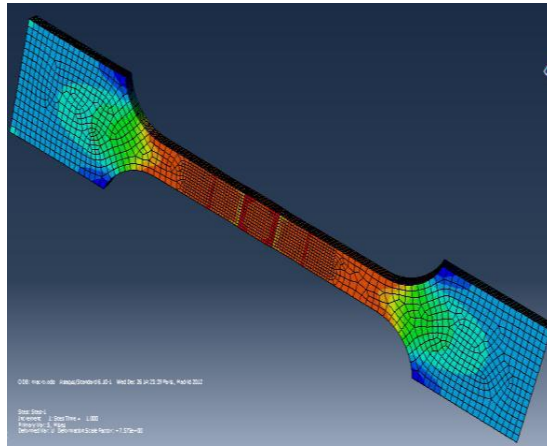


Figure 5: Distribution des contraintes dans les différentes zones du soudage.

Ces deux figures montrent la distribution des contraintes dans les différentes zones de soudage par FSW. On remarque que les contraintes sont élevées dans le noyau.

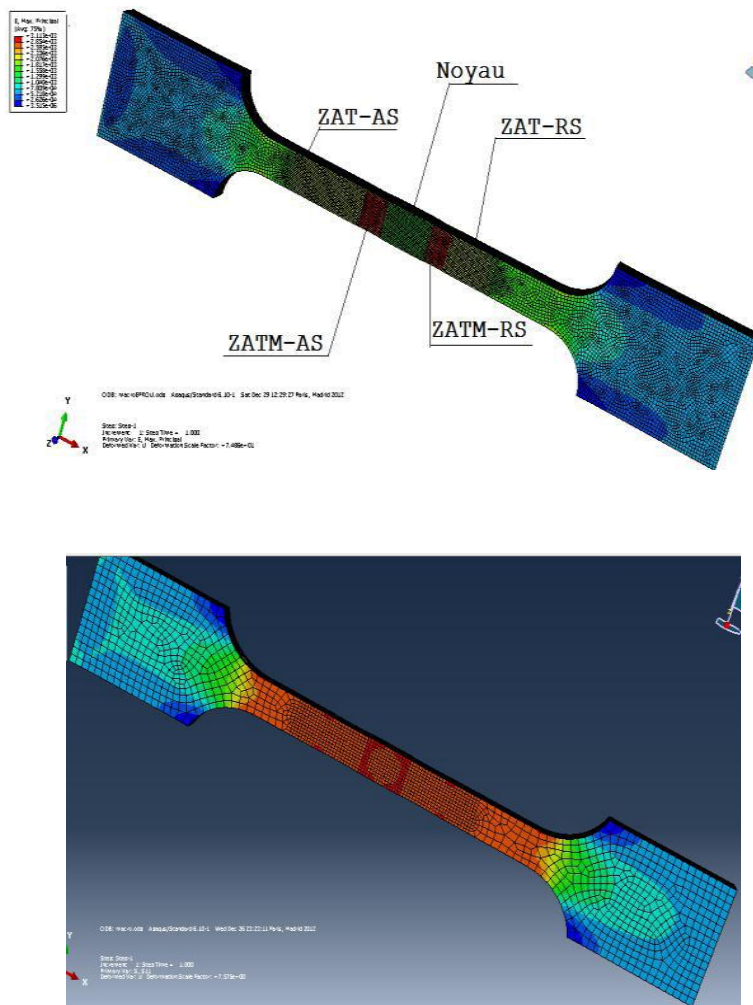


Figure 6: Représentation des déformations dans les différentes zones de soudage.

Pour ce type d'alliage on peut voir à travers la figure 6 que la déformation est importante dans l'ensemble noyau/ZATM puis elle se localise dans les ZATM.

5. Conclusion

Nous, nous sommes intéressés à l'alliage 5251 H14 qui ne fait intervenir que les phénomènes liés à la structure de dislocations, restauration et recristallisation contrairement aux alliages à durcissement structural de la série 2000, 6000 et 7000 pour lesquelles le durcissement est lié aux différents précipités présents dans ces alliages.

Au fur et à mesure que l'on se rapproche du noyau, la ZAT présente d'abord une restauration puis une recristallisation statique en cours et qui devient totale au niveau de la frontière ZAT/ZATM.

Dans la ZATM, il y'a une déformation importante qui vient s'ajouter durant le processus de soudage ce qui induit une recristallisation dynamique tandis que dans le noyau on a une déformation totale (déformation dynamique aussi).

Nous avons donc pu déterminer les zones les plus faibles dans un joint de l'alliage 5251 H14 à savoir la ZATM où la déformation est la plus importante telle qu'elle est illustrée sur la figure 6 et plus les propriétés mécaniques sont hétérogènes dans le joint plus il y'a localisation de la déformation.

L'alliage 5251 H14 se rompt au niveau de la ZATM où la structure granulaire est plus grossière que dans le noyau et la restauration dynamique a permis l'élimination de nombreuses dislocations par rapport au métal de base. Lorsqu'on se rapproche du noyau, la limite d'élasticité diminue par contre l'allongement à la rupture augmente.

Le modèle utilisé pour prédire le comportement d'un joint soudé pour l'alliage 5251 H14 donne des résultats assez satisfaisants, cependant des améliorations peuvent être apportées qui tiennent compte de l'influence du comportement d'une zone sur les zones voisines et du mécanisme d'endommagement.

Nous prévoyons aussi d'élargir ce travail en utilisant d'autres alliages d'aluminium cela nous permettra de faire des comparaisons et en déduire la nuance qui résiste le mieux aux chargements.

6. Références bibliographiques.

[1] Reynolds, Lockwood et al., 2000. Processing-property correlation in friction stir welds. Materials science forums, 331(2) 1719-1724.

[2]. Cécile Genevois, Genèse des microstructures lors du soudage par friction malaxage d'alliages d'aluminium et comportement mécanique résultant, institut national polytechnique de Grenoble thèse doctorat 2004.

[3]. A. L. Etter. Recrystallization on mechanisms in 5251 H14 and 5251 O aluminum friction stir welds. 7 septembre 2006.

[4]. Mishra et Ma 2005. Friction stir welding and processing. Materials science and Engineering.

[5]. A. Ghazi. Caractérisation mécanique des assemblages soudés par friction malaxage (Etude expérimentale et numérique).

[6] Eric Feulvarch,. 2005 Modélisation numérique du soudage par friction-malaxage (Friction Stir Welding). Thèse de doctorat de l'Université de Saint Etienne, Génies Mécanique et Civil.