Séminaire des Nouvelles Technologies de Soudage

SNTS'2015

Association Tunisienne de Soudage

الجمعيّة التونسيّة للحام

SFAX

Soudage et Découpage
Inspection et CND
Robotique et Automatisation
Simulation numérique

SNTS'2015

Magazine ATS : N°1
Décember 2015

Séminaire des Nouvelles Technologies de Soudage

SNTS'2015

2ème session

Organisé par

L'Association Tunisienne de Soudage

En partenariat avec

L'Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Sfax

18-19-20 Décembre 2015

Hammamet - Tunisie

L'Association Tunisienne de Soudage (ATS) organise, en partenariat avec l'Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Sfax (ISET de Sfax), la deuxième session du Séminaire des Nouvelles Technologies de Soudage « SNTS'2015 ».

Ce séminaire international propose de créer un espace de dialogue et d'échange des expériences relatives aux nouvelles technologies de soudage. Cet espace vous présente des sessions plénières et des ateliers animés par des experts internationaux.

Intervenants

- M. Sofien HAKIMI
- M. Amen Allah BOUKER
- M. El-Hachemi AMARA
- M. Moez ABDELMOULA
- M. Nader HADDAR
- M. Sébastien BENTI
- M. Karim LOUKIL
- M. Ilyes Ben HAMADOU
- M. Jamal EL BARK
- Mme Hinda ZAITER HOUAICHI
- M. Hassen KANNOU
- M. Mabrouk BOUABDALLAH
- M. Chaker HADDED
- M. Badreddine GALLELI

Thèmes

- Soudage et Découpage
- Inspection et CND
- Certifications
- Robotique et Automatisation
- Simulation numérique

Membres

- M. Walid CHAOUI (ISET Sfax)
- M. Slim Ben HALIMA (ISET Sfax)
- M. Slim SOUISSI (ISGI Sfax)
- M. Lassaad GARGOURI (ISET Sfax)
- M. Fakher BOUATTOUR (ISET Sfax)
- M. Montassar ZRIDA (CNRSM Borj Cédria)
- M. Ilyes Ben HAMADOU (Société LINCOLN)
- M. Radhouane NCIBI (ISET Sidi Bouzid)
- M. Khalil HAMZA (ISET Sfax)
- Mlle Narjes CHTIOUI (ISET Sousse)
- M. Walid AYEDI (ISET Radès)
- M. Mohamed BELAID (CMS CSFCM Menzel Bourguiba)
- M. Moncef HBAIEB (ISET Sfax)
- M. Rachid AMRI (ISET Radès)
- M. Radhouane MTIBÂA (ISET Sfax)
- Mme Najoua MEZGHANNI (ISET Sfax)
- Mme Fatma AYADI (ISET Sfax)
- M. Faiez CHARFI (ISET Sfax)

Président d'honneur

M. Bassem JALLOULI (Directeur ISET Sfax)

Président

M. Ilyes BOUHAMED (ISET Sfax)

Vices présidents

M. Elyes TRABELSI (ISET Sfax)

M. Jamel MARS (ISET Sfax)

M. Moez ABDELMOULA (Société SMS)

Contacts : Association Tunisienne de Soudage

Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Sfax - Route Mahdia km 2.5 - 3099 Elbosten-Sfax

(+216) 22 70 19 65 / 50 46 01 36 / 27 04 31 18

(+216) 32 40 01 36

www.snts.ats-tn.net

snts2015@ats-tn.net

www.ats-tn.net

Sommaire

Programme du séminaire 2

Comité d'organisation 4

Association Tunisienne de Soudage 6

Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Sfax 8

Mécanismes physiques du soudage profond par laser de puissance 12

Tenue mécanique des jonctions soudées des réservoirs sous pression 18

Soudage robotisé : principe et applications 24

Rôle des transformations structurales dans les cordons de soudure : cas des aciers inoxydables 30

Soudage Orbital 36

Les robots de soudure, technologie et application 42

Développement d'un outil de simulation du procédé de soudage à l'arc 48

Découpage plasma à commande numérique 54

Effet de la vitesse de découpe et de la longueur d'onde lors d'une découpe par laser 60

Recherche des défauts de soudures par les méthodes TOFD et Phased Array 66

Procédé de soudage plasma 72

Carnet d'adresses 78

Programme du séminaire

Vendredi 18 Décembre 2015

14:30-18:30	**Accueil des participants et inscription**
18:30-21:00	**Dîner**

Samedi 19 Décembre 2015

	Conférences Plénières : Salle Carthage
09:00-09:30	**Ouverture**
09:30-10:00	**L'imagerie ultrasonore : Contrôle des Soudures par les PHASED ARRAY et le TOFD** *M. Sofien HAKIMI* Olympus / Vibratech
10:00-10:30	**Mécanismes Physiques du Soudage Profond par Laser de Puissance** *M. El-Hachemi AMARA* Centre de Développement des Technologies Avancées
10:30-11:00	**Challenge de la mécanisation du soudage des pipelines avec les fils fourrés** *M. Moez ABDELMOULA* SMS / BOHLER
11:00-11:30	**Pause Café**
11:30-12:00	**Tenue mécaniques des jonctions soudées des réservoirs sous pression** *M. Nader HADDAR* Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax
12:00-12:30	**Soudage robotisé : Principe et applications** *M. Chaker HADDED* General Industry
12:30-13:00	**RealWeld Trainer** *M. Ilyes Ben HAMADOU* LINCOLN ELECTRIC
13:00-14:00	**Déjeuner**
14:30-15:00	**Développement d'un outil de simulation du procédé de soudage à l'arc** *M. Badreddine GALLELI* IMECA
15:00-15:30	**Contrôle par émission acoustique** *Mme Hinda ZAITER HOUAICHI* CSFCM Menzel Bourguiba

	Atelier 1 : Salle Carthage	Atelier 2 : Salle Utique	Atelier 3 : Salle Dougga	Atelier 4 : Salle Bulla Regia
	Les robots de soudure: Technologie et applications *M. Jamal EL BARK* XPERT-MECA / KUKA	**Soudage Orbital** *M. Aman Allah BOUKER* U2I / AXXAIR France	**Contrôle des Soudures par les PHASED ARRAY et le TOFD** *M. Sofien HAKIMI* Olympus / Vibratech	**Logiciel The Steel Detailer** *M. Hassen KANNOU* CAT
15:30-16:00	**Groupe 1**	**Groupe 2**	**Groupe 3**	**Groupe 4**
16:00-16:30	**Groupe 4**	**Groupe 1**	**Groupe 2**	**Groupe 3**
16:30-17:00	**Pause Café**			
17:00-17:30	**Groupe 3**	**Groupe 4**	**Groupe 1**	**Groupe 2**
17:30-18:00	**Groupe 2**	**Groupe 3**	**Groupe 4**	**Groupe 1**
18:30-21:00	**Dîner**			

Dimanche 20 Décembre 2015

	Conférences Plénières : Salle Carthage
08:30-09:00	**Rôle des transformations structurales dans les cordons de soudure : cas des aciers inoxydables** *M. Mabrouk BOUABDALLAH* Ecole Nationale Polytechnique
09:00-09:30	**Effet de la vitesse de découpe et de la longueur d'onde lors d'une découpe par laser** *M. El-Hachemi AMARA* Centre de Développement des Technologies Avancées
09:30-10:00	**Soudage MMA/TIG sans connexion au réseau électrique (Machine de soudage avec batteries Lithium-ion)** *M. Karim LOUKIL* SMS / Fronius
10:00-10:30	**Pause Café**
10:30-11:00	**Procédé de soudage plasma** *M. Sébastien BENTI* Air Liquide
11:00-11:30	**Découpage plasma à commande numérique : Avantages et limites** *M. Chaker HADDED* General Industry
11:30-12:00	**La cartographie de la corrosion sur les pipelines et les bacs de stockage** *M. Sofien HAKIMI* Olympus / Vibratech
12:00-12:30	**Cérémonie de clôture**
12:30-14:00	**Déjeuner**

Comité d'organisation

Bassem JALLOULI
Président d'honneur
(Directeur ISET Sfax)

C'est avec un immense plaisir que l'Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Sfax organise en partenariat avec l'Association Tunisienne de Soudage la deuxième session du Séminaire des Nouvelles Techniques de Soudage (SNTS'2015). Ce séminaire est considéré comme l'un des événements marquants l'histoire de l'ISET de Sfax durant ces 20 dernières années au service de la communauté nationale : mondes universitaire, industriel et commercial, mais aussi celui des décideurs politico-administratifs.

Je salue la disponibilité et la spontanéité démontrées par nos partenaires et sponsors, qui nous ont donné la preuve de leur engagement et confiance en nous fournissant l'appui nécessaire pour l'organisation de ce séminaire.

J'espère aussi que les objectifs assignés à ce séminaire seront atteints à travers l'échange de connaissances, d'expériences et d'expertises dans ce champ technologique de soudage et son usage industriel.

Je voudrais également m'acquitter de l'agréable devoir de remercier les membres du comité d'organisation du SNTS'2015 pour la qualité du travail accompli.

Je souhaite la bienvenue à tous les participants à cette session. Bon séminaire.

Ilyes BOUHAMED
Président du séminaire SNTS'2015
(ISET Sfax)

C'est avec un grand plaisir que je vous souhaite, à mon nom et au nom du comité d'organisation, la bienvenue à Hammamet à l'occasion de la deuxième session du Séminaire des Nouvelles Technologies de Soudage SNTS'2015, organisé par l'Association Tunisienne de Soudage (ATS) et l'Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Sfax (ISET de Sfax).

La réussite de cette manifestation scientifique et technologique est le fruit d'un travail laborieux de la part des membres du comité d'organisation, que je remercie vivement.

Le séminaire présentant des conférences plénières et des ateliers animés par des experts internationaux, assure un espace de rencontre et d'échange d'expériences qui s'articulent autour des nouvelles technologies de soudage.

Je tiens à remercier, également tous les sponsors et tous les partenaires qui ont bien accepté de soutenir cette manifestation.

Finalement, je souhaite à tous un excellent séminaire.

Elyes TRABELSI
Vice-Président
(ISET Sfax)

Jamel MARS
Vice-Président
(ISET Sfax)

Moez ABDELMOULA
Vice-Président
(SMS)

Walid CHAOUI
Membre
(ISET Sfax)

Slim Ben HALIMA
Membre
(ISET Sfax)

Slim SOUISSI
Membre
(ISGI Sfax)

Lassaad GARGOURI
Membre
(ISET Sfax)

Fakher BOUATTOUR
Membre
(ISET Sfax)

Montassar ZRIDA
Membre
(CNRSM Borj Cédria)

Ilyes Ben HAMADOU
Membre
(LINCOLN ELECTRIC)

Radhouane NCIBI
Membre
(ISET Sidi Bouzid)

Khalil HAMZA
Membre
(ISET Sfax)

Narjes CHTIOUI
Membre
(ISET Sousse)

Walid AYADI
Membre
(ISET Radès)

Mohamed BELAID
Membre
(CSFCM Menzel Bourguiba)

Moncef HBAIEB
Membre
(ISET Sfax)

Rachid AMRI
Membre
(ISET Radès)

Radhouane MTIBÂA
Membre
(ISET Sfax)

Najoua MEZGHANNI
Membre
(ISET Sfax)

Fatma AYADI
Membre
(ISET Sfax)

Faiez CHARFI
Membre
(ISET Sfax)

Association Tunisienne de Soudage

L'Association Tunisienne de Soudage « ATS » est une jeune association, qui réunit les universitaires, les formateurs, les étudiants et les industriels Tunisiens et étrangers des secteurs de soudage, de chaudronnerie, de coupe et du contrôle.

Dans ce cadre, l'ATS a tracé un projet original et ambitieux qui vise essentiellement le développement de l'industrie tunisienne pour qu'elle soit plus concurrentielle à l'échelle international, la promotion des métiers liés aux domaines de soudage et l'amélioration de l'employabilité.

La réalisation de ce projet fera appel à de grands efforts et sacrifices des équipes qui se composent essentiellement des bénévoles de l'ATS et des partenaires tunisiens et étrangers.

Mission et objectifs

- Tisser des relations de coopération entre l'université, les centres de formation professionnelle et l'industrie et encourager le transfert de la technologie dans les deux sens dans tous les domaines liés au soudage.
- Promouvoir, développer et encadrer les études et les recherches dans toutes les disciplines liées au soudage en partenariat avec les industriels.
- Organiser des sessions de formation et des colloques dans tous les domaines liés au soudage.
- Veiller à développer les travaux de recherche scientifique et pédagogique dans les spécialités liées au soudage à travers la coopération avec les structures et les organisations concernées.
- Réaliser des coopérations avec les associations locales et internationales appartenant au même secteur.
- Percevoir les problèmes liés au secteur de soudage chez les industriels et essayer de les résoudre.
- Collecter et analyser les données des secteurs liés au soudage.

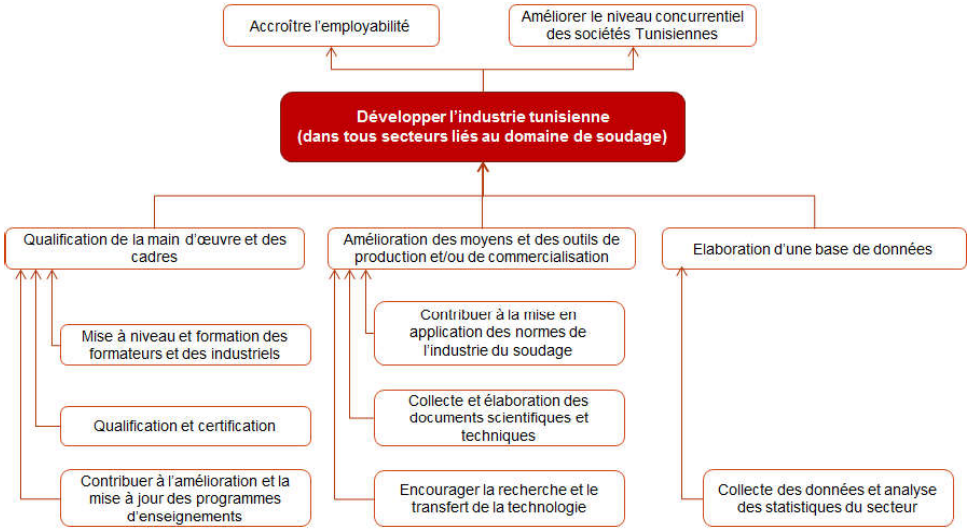
Centres d'intérêt

- Soudage
- Brasage
- Chauffage thermique
- Coupe
- Chaudronnerie
- Construction métallique
- Contrôle
- Sécurité et environnement

ATS
Association Tunisienne de Soudage
الجمعيّة التونسية للحام

www.ats-tn.net

Projet ATS



Projets en cours

Formation et Certification

- Centre de Certification en Construction Métallique et Inspection « 3CMI »
- Formations (Formateurs, étudiant et industriels)
- Accréditation et partenariat avec les organismes certificateurs

Transfert technologique

- Séminaire des nouvelles technologies de soudage
- Magazine
- Journées Portes Ouvertes
- Forum (www.forum.ats-tn.net)

Assistance technique

- Encadrement et assistance des PME
- Etude et réalisation des projets de développement et d'innovation

Standards et normalisation

- Workshop : Normalisation et Certification en Soudage et Inspection
- Progiciels : Calcul des appareils sous pression et préparation des WPS

Logiciel de CAO et de calcul

- Workshop : La CAO au profit de la construction métallique
- Ateliers : Projets sur logiciels de CAO et de calcul dans le domaine de C.M.

QHSE

- Workshop : Rôle de la QHSE dans l'industrie de construction métallique et de service pétrolier
- Journée Portes Ouvertes : Moyens et outils de protection et de sécurité
- Application de la gestion HSE

Base de données et analyse sectorielle

Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Sfax

Présentation :

Capacité : 1821 étudiants
- 1708 : en licence appliqués
- 113 : en mastères professionnels

Staff pédagogique :
- 186 : Enseignants permanents
- 40 : Intervenants professionnels

Staff administratif et technique : 35

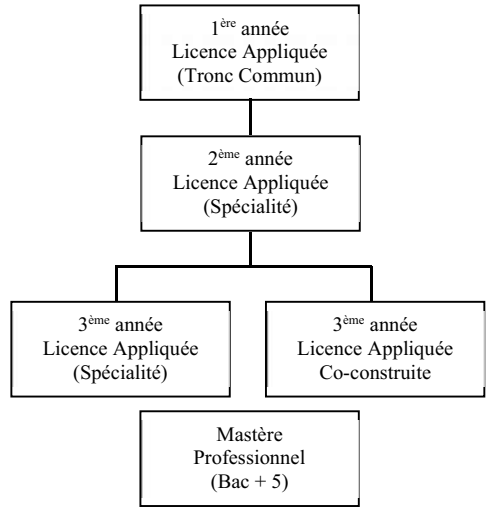
Partenaires institutionnels :

- Union Tunisienne de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat
- Agence de Promotion de l'Industrie et de l'Innovation
- Pépinière d'Entreprises Sfax Innovation
- Chambre de Commerce et de l'Industrie de Sfax
- Centre des Jeunes Dirigeants d'entreprise
- Centre de Promotion des Exportations
- Centre d'Innovation
- Réseau Challenge

Partenaires internationaux :

- IUT de Reims-France
- IUT d'Amiens
- IUT le Mans
- IUT de Picardie
- IUT de Nancy-Brabois
- CEGEP de Matane Canada
- IUT Bordeaux 1
- IUT d'Orsay
- IUT Besançon-Vesoul
- IUT de Saint-Etienne
- IUT d'Annecy
- CCK

Organisation des études :



Départements

- Sciences Economiques et de Gestion
- Technologie de l'Informatique
- Génie des Procédés
- Génie Civil
- Génie Mécanique

Méthodes et outils pédagogiques

- Formation orientées : compétences et métiers
- Visites d'entreprises
- Simulations
- Travaux Pratiques
- Séminaires
- Cours de Soir
- Enseignement à distance

Département Génie Mécanique

Présentation

- **Date de création** : 1996
- **Staff pédagogique :** 52 enseignants
- **Capacité d'accueil :** 383 étudiants (363 en licence appliqué et 20 en mastère professionnel)

Spécialités

Quatre parcours de la licence appliquée en Génie Mécanique :

- Construction Fabrication Mécanique
- Construction Métallique
- Maintenance Industrielle
- Energétique

Certifications

Centre de certification internationale Solidworks : CSWA, CSWP, … pour les étudiants et les enseignants de l'ISET.

Débouchés

- Maintenance industrielle (électrique et mécanique)
- Bureaux d'études
- Bureaux de contrôle
- Pétrochimie
- Fabrication mécanique
- Transformation des matériaux
- Construction métallique
- Contrôle qualité
- Gestion de production
- Conception et fabrication des outils de presse

Métiers

- Responsable de production
- Responsable d'exécution
- Responsable de maintenance
- Responsable en énergétique

Outils didacticiels

- Transfert de chaleur
- Technique de mesure
- Mécanique des fluides
- Electronique de puissance
- Commande machine
- Automatisme et régulation
- Froid et climatisation industrielle
- Mécanique générale
- Résistance des matériaux
- Sciences des matériaux
- Contrôle non destructif et surveillance
- Systèmes hydrauliques et pneumatiques
- Machines thermiques
- Métrologie tridimensionnelle
- GMAO/CAO/FAO/DAO

Ateliers

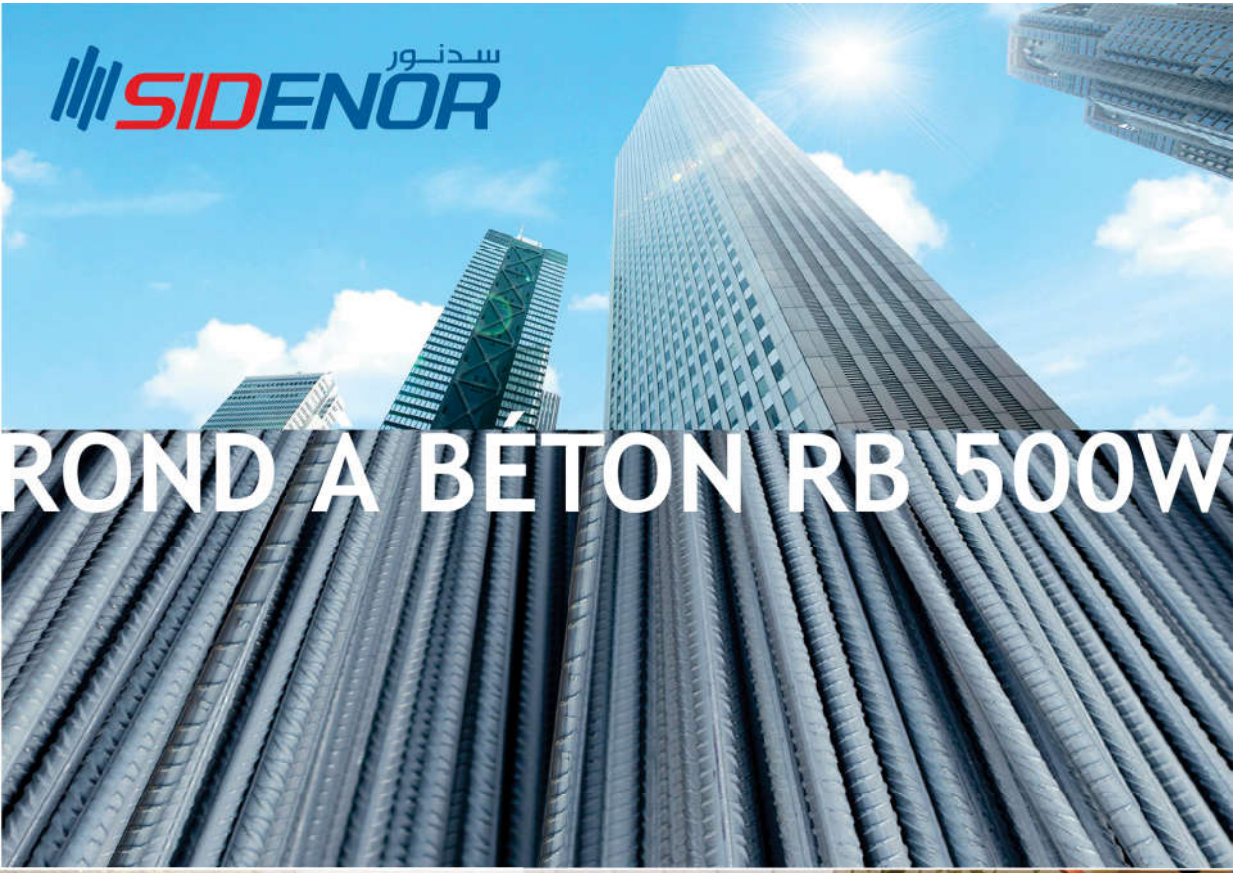
- Tournage, Fraisage, Machines spéciales
- Machines outils à commande numérique
- Soudage, Construction métallique, Rectification
- Fonderie, Chaudronnerie

سدنور
SIDENOR

Bureau Tunis
Imm. Monaco, Av. du Japon,
1073 Montplaisir
Tél.: 71 901 799 / 71 901 141
Fax : 71 901 076

commercial@sidenor.com.tn
www.sidenor.com.tn

Usine
Zone Industrielle
Bir Mcherga Gare, 1193
Tél.: 72 679 610 / 72 679 676
Fax : 72 679 691



ROND A BÉTON RB 500W

FIL MACHINE SIDENOR

Dr El-Hachemi AMARA est chercheur permanent avec un grade de Directeur de recherche, au Centre de Développement des Technologies Avancées d'Alger, dans la Division Milieux Ionisés et Laser. Il est Diplômé de l'Université de Sciences et Technologies Houari Boumedienne d'Alger avec un Diplôme d'Etudes Supérieures en Physique du Solide, un Magister en Electronique Quantique, un Doctorat en Physique des Plasmas et une Habilitation Universitaire. Il s'intéresse aux applications des lasers de puissance et des lasers à pulsations ultrarapides. Il est auteurs de plus d'une centaine d'articles dans des revues scientifiques et d'actes de conférences de réputation avérée

Mécanismes physiques du soudage profond par laser de puissance

Résumé : *Le soudage laser par pénétration profonde se caractérise par la formation d'une cavité appelée communément 'keyhole'. Ce procédé permet d'obtenir des cordons de soudure profonds et de faibles zones affectées thermiquement. Les observations expérimentales ont montré que pour des vitesses de soudage entre 12 et 19 m/min, des protubérances 'humps' apparaissent sur le joint de soudure. Le but du travail est de déterminer à travers une modélisation les mécanismes de formation du keyhole, de contrôle du joint de soudure et d'apparition des humps.*

Mots-clés : *Laser, keyhole, humps*

I. Introduction

Le soudage conductif s'obtient lorsque l'intensité laser est suffisante pour fondre le matériau, mais pas assez forte pour le vaporiser. La profondeur du soudage est limitée à quelques dixièmes de millimètres. Lorsque le faisceau laser est plus puissant, ou si la vitesse de soudage est relativement plus lente, menant à des temps d'interaction plus grand, des températures importantes sont atteintes. La surface du matériau est fondue, et rapidement amenée à l'évaporation. L'effet de vaporisation et de pression lors de la dissipation de la vapeur métallique, mène à la formation d'un canal de vapeur à l'intérieur de la pièce traitée, ayant la forme d'un trou de serrure. Ce capillaire montré sur la figure (1) est plus communément appelé un keyhole. Il est entouré d'une phase liquide composée du métal en fusion, caractérisé par des mouvements hydrodynamiques dus aux forts gradients de température et de pression. Le keyhole est caractérisé par des largeurs plus ou moins fixes, et des profondeurs relativement importantes sans élargir la suture.

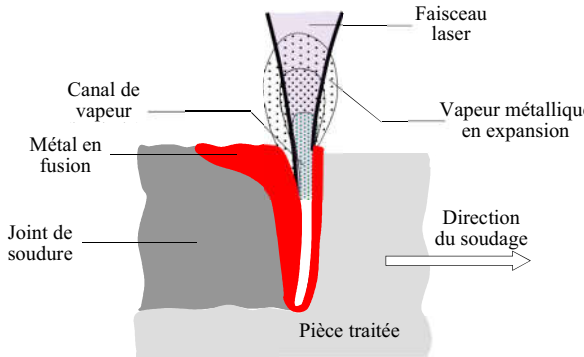


Figure 1 : Principe du soudage par pénétration profonde (keyholing)

C'est un procédé efficace qui permet d'obtenir des cordons de soudure profonds et de très faibles zones affectées thermiquement. L'intérêt économique primant, l'utilisation de machines automatisées a acquis un intérêt croissant dû à l'efficacité, la répétabilité et le taux de production élevé comparé au soudage manuel effectué par des opérateurs. Les observations expérimentales [1-2] ont démontré cependant qu'à des vitesses de soudage se situant entre 12 et 19 m/min, un keyhole rallongé est obtenu et la surface du bain fondu se caractérise par de légères fluctuations. Au-delà de 20 m/min, le régime dit 'humping' est atteint, et l'on observe alors la formation de protubérances sous forme de bosses régulières. Cette instabilité de type Rayleigh-Taylor constitue un inconvénient majeur pour aller vers le soudage profond à grande vitesse, et plusieurs théories ont été proposées pour expliquer le phénomène de humping, pour lequel des données expérimentales ont été compilées pour vérifier ces théories [3] développées pour différents procédés de soudage (TIG, laser,…).
De ce fait, un effort pour la compréhension du phénomène est nécessaire afin de trouver les moyens d'améliorer la qualité du joint soudure, tout en allant plus vite. Notre contribution à cet effort est une approche basée sur une résolution numérique des équations d'écoulement de fluide et de transfert de chaleur. Nous nous sommes intéressés au soudage profond par laser, dans ses différents aspects, par différentes approches, augmentant régulièrement la difficulté en passant des études bidimensionnelles [4] aux études tridimensionnelles [5]. Aussi, la complexité du problème est due au fait que plusieurs mécanismes physiques doivent être pris en compte, tels que la fusion du matériau, sa vaporisation, l'interaction entre phases, et la re-solidification [5]. Dans le présent travail, une simulation 3D est développée, en utilisant des paramètres expérimentaux [2]. On considère les propriétés thermophysiques dépendantes de la température dans le cas du Fer. On prend en compte, l'effet de la pression de recul (initiation d'un mouvement latérale du liquide allant du front vers l'arrière du keyhole), et l'effet de la fusion-resolidification du matériau (à t=0 la surface de l'échantillon est plate et est à T=300 K sur tout le domaine). L'effet du creusement de la surface est introduit en calculant une vitesse de perçage provoquant, au-delà du seuil d'absorption permettant d'atteindre la vaporisation, l'enfoncement de la surface sous l'effet du faisceau laser. La variation de la tension de surface, due à la variation de la température est prise en compte dans cette modélisation. La technique de maillage dynamique mise en œuvre par le logiciel de dynamique des fluides Fluent-CFD et les procédures spécifiques de calcul (UDF) développées, permettent d'obtenir la forme 3D du keyhole. Le logiciel Fluent est constitué essentiellement du pré-processeur Gambit utilisé pour élaborer la géométrie du problème, et la génération du maillage, et du solveur Fluent qui permet de résoudre les équations du problème en tenant compte de la personnalisation à travers les UDF. La prise en compte de la re-solidification qui est calculée par une méthode enthalpique est essentielle, car c'est grâce à ce mécanisme que la visualisation des bosses (humps) peut être obtenue.

II. MODELISATION

Considérant une absorption Fresnel pour tenir compte de l'angle d'incidence, l'intensité laser localement absorbée sur la surface traitée est donnée par:

$$I_{abs} = A(\alpha)\, I_{inc} \cos(\alpha) \exp(-\mu\, d) \exp(-r^2/r_l^2) \qquad (1)$$

où α est l'angle entre l'axe du faisceau laser et la normale locale à la paroi du keyhole et $A(\alpha)$ est le coefficient d'absorption dépendant de l'angle. μ est le coefficient d'absorption du plasma et d la distance parcourue dans le plasma entre deux réflexions du faisceau sur les parois du keyhole. La formation du keyhole et le mouvement induit du métal en fusion en présence de la phase solide, sont traités en considérant l'énergie laser absorbée, la fusion, la vaporisation, et la re-solidification. Ces mécanismes sont introduit en tenant compte du fait qu'à l'instant initial la surface de l'échantillon est plate, et sa température égale à 300K. On simule la déformation de surface sous l'effet du faisceau laser en considérant la vitesse de perçage locale décrite par Semak *et al.* [6], obtenue quand l'énergie laser absorbée est au-delà du seuil de vaporisation du matériau traité. Le déplacement de surface produit est donné en fonction de la vitesse de perçage par :

$$\Delta d = v_d \, \Delta t \qquad (2)$$

où

$$v_d = K \, I_{abs} \cos(\alpha) \qquad (3)$$

Δt est le pas de temps de la simulation, K un facteur de proportionnalité. L'intensité absorbée est calculée en fonction de α et du coefficient d'absorption du matériau pour la longueur d'onde laser utilisée. Fabbro *et al.* [7] ont proposé une approche en 2D pour le calcul de profils du keyhole. On applique cette approche en 3D pour le calcul de la déformation de la surface due à l'absorption de l'énergie laser. On procède premièrement en calculant l'angle d'incidence local α du faisceau laser sur les parois du keyhole. Ces parois en 3D constituent une enveloppe, et pour le calcul de α la connaissance du vecteur normale à chaque élément de surface de l'enveloppe est nécessaire. Le module de ce vecteur ainsi que ses composantes sont des données accessibles fournies par le solveur Fluent. On représente sur la figure (2), le vecteur normal $\vec{A}_N$ à l'élément de surface sur la paroi du keyhole, A_x, A_y et A_z sont les composantes du vecteur.

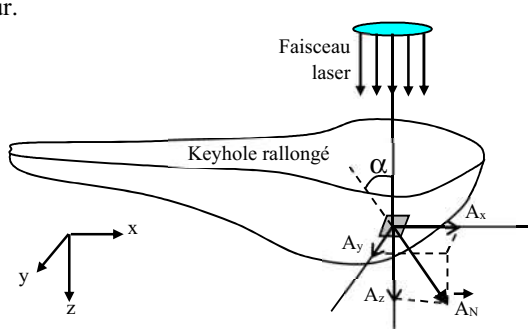


Figure 2 : Représentation 3D du keyhole, et de l'élément de surface

On peut connaître à chaque instant t, à partir du maillage courant, l'angle α tel que :

$$\cos(\alpha) = \frac{A_z}{|\vec{A}_N|} \qquad (4)$$

III. Resultats

On utilise des conditions opératoires liées au faisceau laser donnés dans la référence [2]. La puissance du laser est de 4kW, le diamètre du faisceau est de 600µm, et la longueur d'onde est 1.06 µm (laser Nd_YAG). Pour un échantillon de Fer, le coefficient d'absorption A donné

dans l'équation (1) est égal à 0.3, et le coefficient de proportionnalité K de l'équation (3) est pris égal à 3 10^{-11} (m/s) /(W/m^2) [8]. On considère une vitesse de déplacement du faisceau laser égale à 0.8 m/s (~50 m/min) sur un échantillon parallélépipèdique en Fer de dimensions : 15 mm x 2 mm x 1 mm. La figure (3) représente la distribution de la température obtenue à partir de différents points d'observation. La vue plongeante montre clairement la forme allongée du keyhole et sa dimension.

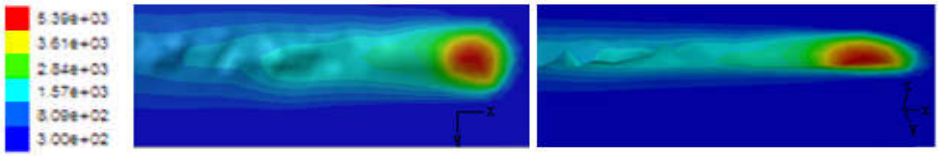


Figure 3 : Distribution de la température en Kelvin

On montre sur la figure (4) une vue générale de l'échantillon avec le bain fondu et la région resolidifiée. On peut voir clairement des excroissances sous forme de bosses apparaissant quasi régulièrement derrière le bain fondu, ce qui suggère la mise en évidence par notre modélisation du phénomène 'humping'.

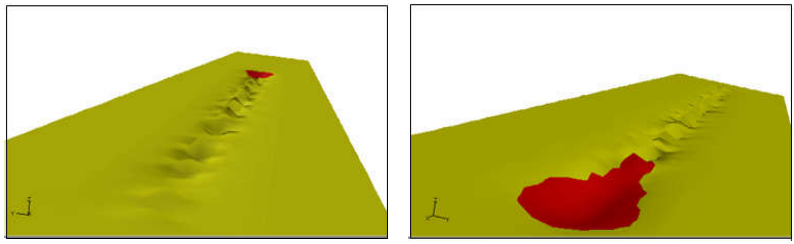


Figure 4 : Surface de l'échantillon vue de l'arrière et à partir du front du bain fondu

IV. Conclusion

Notre modélisation du soudage laser par pénétration profonde a permis de mettre en évidence la formation de bosse, à vitesse de déplacement située dans le régime 'humping' tel que défini par les observations expérimentales. Nous avons utilisé dans nos calculs des procédures permettant d'insérer d'une part des mécanismes physiques complexes en géométrie 3D, et d'autre part des conditions aux limites spécifiques dans le processus de calcul utilisant le code de CFD Fluent. La technique du maillage dynamique a permis de simuler la formation du keyhole et celles des bosses.

References bibliographiques

[1] Fabbro R., Slimani S., Doudet I., Coste F., and Briand F., *J. Phys.D: App. Phys.*, 2006, 39, 394-400.
[2] Fabbro R., Slimani S., Coste F., and Briand F., *PICALO 2008 Conf. Proc.,* 2008, 173-178.
[3] Soderstrom E. and Mendez P., *Science and Technology of Welding and Joining*, 2006, 11, 572- 579.
[4] Amara E.H., Bendib A., *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2002, 35, 272-280.
[5] Amara E.H. and Fabbro R., *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2008, 41, n°5, 055503.
[6] Semak V. and Matsunawa A., *J. Phys.D: Appl. Phys.*, 1997, 30, 2541-2552.
[7] Fabbro R. and Chouf K., *J. Appl. Phys.*, 2000, 87, 4075-4083.
[8] Matsunawa A. and Semak V., J. *Phys. D: Appl. Phys.*, 1997, 30, 798-809.

Fronius
SHIFTING THE LIMITS

Hypertherm
Cut with confidence

voestalpine Böhler Welding

PFERD

Equipements de soudage manuels et robotisés

Consommables de soudage

Machines de découpe plasma manuels et CNC

Machines de découpe Laser

Produits abrasifs

Outils de polissage des aciers inoxydables

SMS
Sté MAGHREB SOUDURE شركة مغرب لحام

Des experts à votre écoute !

Route de Tunis Km 1,5
Immeuble Dar Essalem
3002 Sfax - Tunisie
Tél : (+216) 74 444 704 / 705 / 706
Fax : (+216) 74 44 47 03
contact@maghreb-soudure.com.tn
www.maghreb-soudure.com.tn

TECHNOPREST
TECHNOLOGIES PRESTATIONS

Notre gamme:

Gamme complétes des produits de

- Soudage / Coupage et Abrasifs:

- Machines et accessoires de soudages à l'arc
- Soudage par résistance : par points, bossage, à la molette...
- Soudage des goujons : générateurs , goujons et fixations
- Abrasifs et outillages de coupage, meulage et finition
- Métaux d´apport pour soudage à l´arc
- Matériel de soudage aux gaz
- Poste de coupage Plasma

*Autres produits dans notre programme de vente :

-Pompes spéciales de transfert et de dosage:

- Pompes Pneumatiques
- Pompes volumétriques
- Pompes doseuses
- Pompe industrielles et solutions de transfert
- Pompe centrifuges
  - étecteurs industriels
  - Etancheité industriels
- Boitiers rotatifs, siphons fixes / rotatifs
- Gamme complète de produits d'étanchéité
  - Traitement de surface
  - Galvanoplastie
  - Traitements chimiques des surfaces
  - Anodisation

TECHNOPREST
TECHNOLOGIES PRESTATIONS

Ben Arous: GP1, Route de sousse Km 5,5 Z.I 2013
Tél: 71 389 203 / 385 355 **Fax:** 71389 215

Tunis: 90, Avenue de carthage APP.A33/Mag.18
Tél: 71 350 802/332 830 **Fax**: 71333 671

Sousse: Kalaa kebira **Tél**: 26 223 733 / 26 339 801

technoprest@technoprest.com.tn www.technoprest.com.tn

- Structure de rattachement : Ecole Nationale d'ingénieurs de Sfax
- Nom et prénom : HADDAR Nader
- E-mail : nader.haddar@enis.tn
- Grade académique : Maître de conférences

Domaines de recherche

- Mécanique des matériaux et métallurgie de soudage, vieillissement des matériaux, Simulation numérique,
- Fatigue des matériaux et des structures

Tenue mécanique des jonctions soudées des réservoirs sous pression

Résumé : *La présence des joints soudés dans les structures peut affecter leur résistance aux différents chargements. Les réservoirs sous pression sont des structures assemblées dont le dimensionnement nécessite une opération de soudage. Leurs rôles est de stocker ou transporter différents produits comme le gaz naturel, le pétrole ou des produits chimiques corrosifs. Les causes de défaillance de ces réservoirs sont nombreuses, comme l'environnement, la corrosion, la présence de défauts métallurgique, les soudures non-conformes et les fluctuations de pression susceptibles d'engendrer des phénomènes de fatigue mécanique.*

L'objectif principal de nos recherches est de mettre en évidence la différence de comportement (monotone et cyclique) des jonctions soudées des aciers inoxydables austénitiques, austénitiques/ferritiques et les aciers aux carbones plaqués aux aciers inoxydables.

Mots-clés : *aciers inoxydables ; jonctions soudées ; tenue mécanique ; microstructure ; fatigue*

I. Introduction

Les aciers inoxydables austénitiques et austéno-ferritique ont trouvé de larges applications en raison de leurs excellentes propriétés mécaniques et leur résistance à la corrosion en plus d'une aptitude au soudage. Récemment, de nouveaux matériaux plaqués en acier au carbone / acier inoxydable ont été développés permettant d'associer une excellente résistance à la corrosion, une bonne stabilité de l'environnement, de haute résistance spécifique et faible coût de production [1].

Dans le présent travail, les investigations ont été focalisées sur la microstructure et les propriétés mécaniques des aciers soudées par le procédé SMAW. Les propriétés microstructurales et leur incidence sur les propriétés mécaniques, telles que la résistance à la traction, la ductilité, la résistance au choc le comportement cyclique sont abordés. En plus des propriétés mécaniques et métallurgiques des aciers plaquées (acier inox austénitique / acier a faible teneur en carbone) avant et après soudage ont été étudiés.

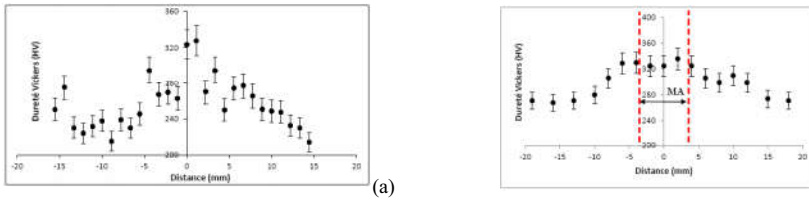
II. Materiaux et procedures experimentales

Des aciers inoxydables laminés à chaud austénitiques et austéno-ferritiques ont été soudés en utilisant le procédé de soudage à l'arc (SMAW). L'opération de soudage a été réalisée aux ateliers de la société SOCOMENIN. Ce procédé peut être utilisé pour souder un grand nombre de divers métaux tels que les aciers au carbone, le cuivre, le laiton et l'aluminium, et il est le plus utilisé dans l'industrie du soudage d'acier inoxydable [2]. Des plaques bi-matière ont été obtenues par colaminage à chaud. Elles se composent d'acier à bas carbone (ASTM A283 grade C) en tant que métal principal et acier inoxydable austénitique (ASTM A240 de type 316) en tant que couche de revêtement.

III. Tenue mecanique des soudures en aciers inoxydables

A. Caractérisation monotone des jonctions soudées

Des mesures de profils de micro-dureté Vickers ont été réalisées dans les jonctions soudées (Figure 1)

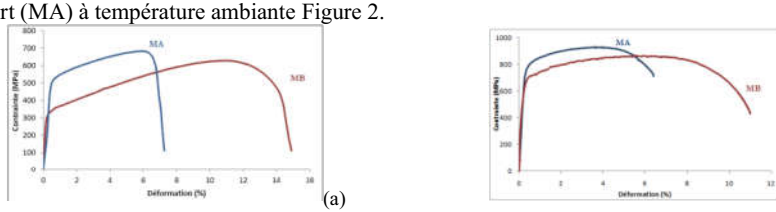


(a) (b)

Figure 1 : Evolution de la dureté le long du cordon de soudure (a) Acier inoxydable austénitique (b) Acier inoxydable austéno-ferritique

L'augmentation de la dureté dans le métal d'apport refroidi (Figure 1-a) peut s'expliquer par l'affinement de la microstructure du fait du refroidissement rapide du métal d'apport. Suite aux cycles thermiques répétés durant le procédé de soudage, une augmentation de la densité de dislocations se produit dépassant ainsi celle déterminée dans le cas d'un acier inoxydable austénitique recuit. Ceci explique aussi les valeurs élevées de la dureté du métal d'apport après refroidissement [3]. Dans le cas de l'acier inoxydable duplex Figure 1-b, encore une fois le changement microstructural induit par les cycles thermiques est à l'origine de cette différence de propriétés [4-5].

Par ailleurs, des essais de traction uniaxiale ont été réalisés sur le métal de base (MB) et le métal d'apport (MA) à température ambiante Figure 2.



(a) (b)

Figure 2 : Comparaison des courbes de traction du métal de base (MB) et du métal d'apport (MA) (a) Acier inoxydable austénitique (b) Acier inoxydable austéno-ferritique

Les quatres matériaux présentent globalement un comportement ductile, mais les propriétés mécaniques sont sensiblement différentes entre le métal d'apport et celui de base. En effet, on peut constater que la limite d'élasticité et la résistance à la traction des métaux d'apport sont plus élevées que ceux des métaux de base. De plus, l'allongement à la rupture du métal de base est plus élevé que celui du métal d'apport.

B. Tenue des jonctions sous sollicitations cycliques

L'étude du comportement cyclique des aciers inoxydables a été conduite sur la base d'essais de traction-compression effectués à amplitude de déformation totale imposée. Trois types d'éprouvettes ont été utilisées, des éprouvettes usinées dans le MB, le MA et celles qui contiennent un joint soudé au centre de l'éprouvette (JS). Les boucles d'hystérésis obtenues sont présentées sur la Figure 3.

(a) (b)

Figure 3 : Comparaison du comportement cyclique du métal de base et du métal d'apport (a) Acier inoxydable austénitique (b) Acier inoxydable austéno-ferritique

Les boucles (Figure 3) montrent que le comportement du métal de base et du métal d'apport sont différents, avec une plasticité plus marquée dans le MB et une amplitude de contrainte plus élevée dans le MA. Ceci peut être dû à la facilité de mouvement des dislocations à bas niveau de déformation dans le MB dont la microstructure présente moins de barrières métallurgiques. En outre, la présence de

précipités dans le MA empêche le mouvement des dislocations donnant lieu à un niveau de contrainte plus élevé et une déformation plastique moins prononcée [6].

Des essais de durée de vie en contrôle de déformation totale ont été réalisées à différentes amplitudes de chargement. La figure 4 represente la courbe de durée de vie des différents matériaux. Il est clair que la durée de vie du métal de base est plus élevée que celle du joint soudé pour tous les niveaux de déformation imposée et les deux aciers étudiés. La rupture des éprouvettes se produit généralement entre les couteaux de l'extensomètre pour les quatres matériaux étudiés. L'observation des eprouvettes après rupture révèle que le métal d'apport (MA) est le lieu de la rupture par fatigue. Contrairement aux résultats des essais monotones, ou la rupture se produisait dans le métal de base, les essais cyclqiues ont révélé une faiblesse de la jonction soudées se traduisant par une chute de la durée de vie.

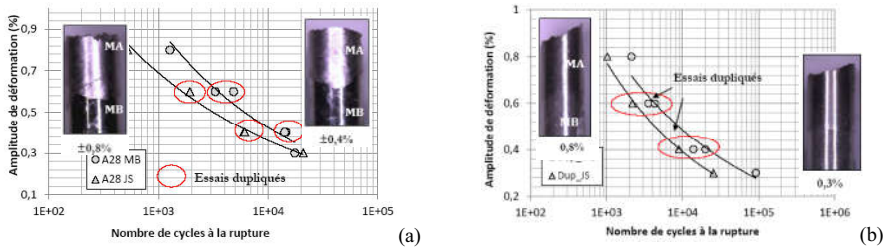


Figure 4 : Courbes d'endurances du métal de base (MB) des jonctions soudées (JS) (a) Acier inoxydable austénitique (b) Acier inoxydable austéno-ferritique

C. *Mécanismes d'endommagement sous sollicitation cycliques*

Afin de conclure sur l'origine de la défaillance sous chargement cyclique, des observations des faciès de rupture ont été realisées (Figure 5). Outre la présence des défauts de soudage, des particules fragiles ont été observées sur les surfaces de ruptures par fatigue de l'acier inoxydable austénitique (Figure 5-a). Ces particules sont logées dans des cavités et présentent une décohésion avec la matrice. L'incohérence des précipités avec la matrice provoque le blocage des mouvements des dislocations, et augmentent ainsi la fragilité du matériau [6]. Cette fragilité accélère ainsi la vitesse de propagation de la fissure et conduit à une durée de vie réduite. L'observation du centre de la surface de rupture de l'éprouvette met en évidence le caractère fragile par la présence de fissures a fort niveau de chargement mécanique cyclique.

Dans le cas de l'acier inoxydable austéno-ferritique, un amorçage translamellaire a été observé (Figure 5-b). Les microfissures ainsi amorcées se propagent entre les lamelles soit en suivant la direction principale de propagation, ou bien en profondeur de l'éprouvette. A ce niveau de déformation totale imposée, l'endommagement est accentué par la décohésion entre les lamelles.

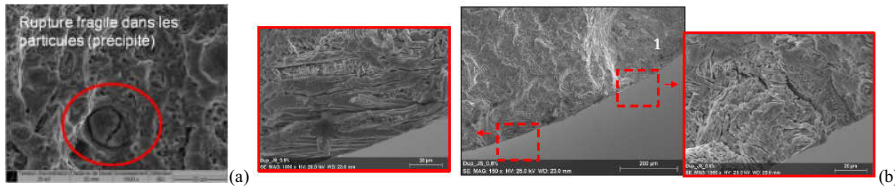


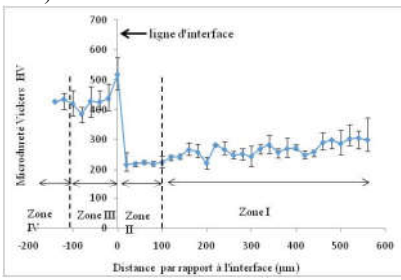
Figure 5 : Faciès de rupture sous sollicitation de fatigue (a) acier austénitique (b) acier austéno-ferritique

IV. Tenue mecanique des soudures des aciers plaques

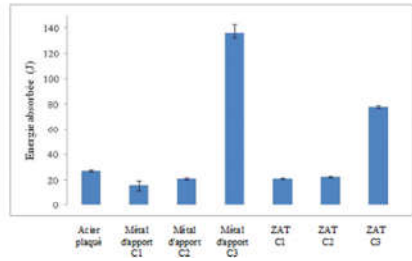
A. *Caractéristiques microstructurale de l'acier plaqué*

La deuxième solution employée pour la construction des réservoirs résistants aux milieux agressifs est l'utilisation d'aciers plaqués. Le plaquage est obtenu par co-laminage à chaud. Cette opération induit des transformations métallurgiques autour de la ligne d'interface. Le plaquage à chaud (1200°C) conduit à une diffusion du carbone de l'acier A283 vers les premiers joints de grains de l'acier

inoxydable 316. Ce phénomène contribue à la création d'une zone dure au niveau de la ligne dinterface (Zone III) et un adoucissement de l'acier au carbone (Zone II) (Figure 6-a).



(a)



(b)

Figure 6 : (a) Profil de dureté (b) Evolution de la résilience en fonction de la configuration de soudage

B. Soudure des aciers plaqués

Lors de l'opération de soudage de ce type d'acier, la norme préconise l'utilisation d'un troisième matériau en occurrence le 309L dans notre cas. L'ordre des passes de soudage a été étudié dans cette partie, en choisissant trois configurations : C1 (316 puis 309L puis A283), C2 (309L puis 316 puis A283) et C3 (A283 puis 309L puis 316).

La caractérisation mécanique des trois configurations (dureté, traction, résilience, pliage) a mis en évidence une fragilisation de la jonction soudée à la première configuration. Cette fragilisation se manifeste par une mauvaise tenue mécanique au pliage, comme le montre la Figure 6-b. A la configuration 3, les meilleures propriétés mécaniques ont été obtenues avec une résilience améliorée aussi bien au niveau du métal d'apport que la Zone Affectée thermiquement (Figure 6-b). Les essais de pliage ont confirmé ce résultat avec une structure fissurée a la configuration C1(Figure 7).

Figure 7 : Eprouvette C1 testée après pliage par flexion trois points

V. CONCLUSIONS

L'ensemble des études ont menées aux conclusions suivantes :

i) Le procédés de soudage induit une hétérogéinité microstructurale pour les deux types d'aciers inoxydables ainsi que l'acier plaqué

ii) Le comportement montone et cyclique des métaux d'apports sont différents des métaux de bases.

iii) La tenue cyclique des jonctions soudées a été réduite par rapport au métaux de base conséquence

iv) de la différence de microstructure et la présence de précipités fragiles dans le cas des aciers austénitiques.

v) L'ordre d'application des passes de soudage dans les aciers plaqués conditionne la tenue mécanique des jonctions soudées

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1]. Akramifarid H.R., Mirzadeh H., Parsa M.H., 'Cladding of aluminum on AISI 304 L stainless Steels by cold roll bonding: Mechanism, microstructure, and mechanical properties', Materials Science & Engineering A, 2014; 613: 232-239.

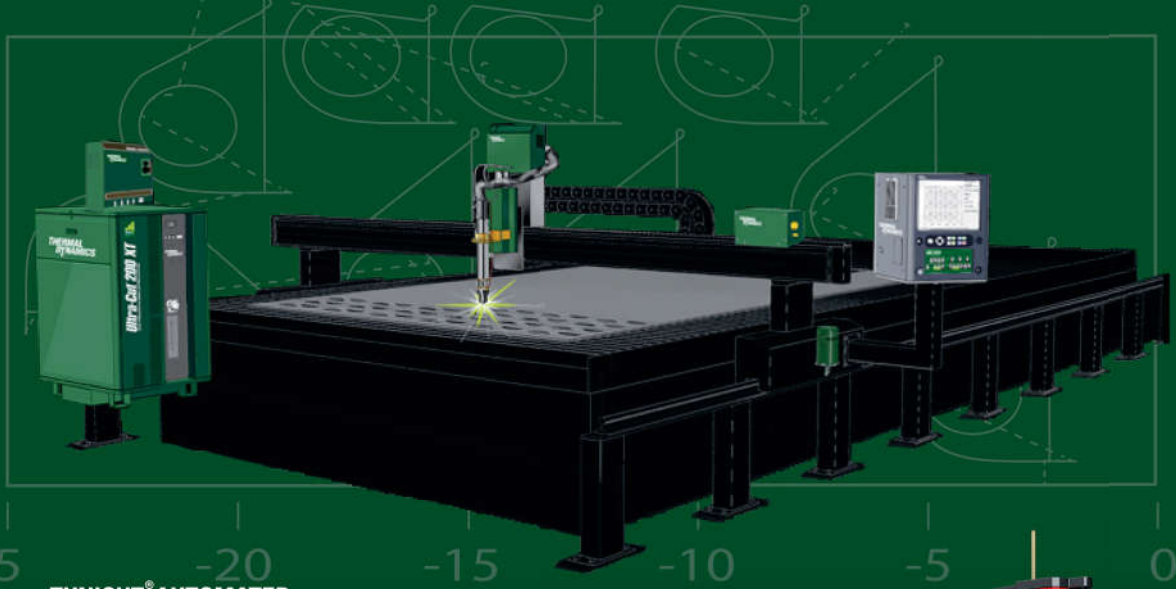
[2]. Folkhard E. Welding Metallurgy of Stainless Steels. Spring-Verlag Wien, New York; 1984.

[3]. M. P. Mishra, H. U. Borgstedt, M. D. Mathew, S. L. Mannan & P. Rodriguez, A comparative study of creep rupture behaviour of modified 316L(N) base metal nd 316L(N)16- 8-2 weldment in air and liquid sodium environments, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Volume 72, Issue 2, July 1997, Pages 111-118.

[4]. K. Devendranath Ramkumar, Debidutta Mishra, M.K. Vignesha, B. Ganesh Raj, N. Arivazhagana, Shah Vitesh Naren, S. Suresh Kumar, Metallurgical and mechanical characterization of electron beam welded super-duplex stainless steel UNS 32750, Journal of Manufacturing Processes, 2014.

[5]. Ramazan Yilmaz, Hüseyin Uzun, Mechanical properties of austenitic stainless steels welded by GMAW and GTAW, Journal of Marmara for Pure and Applied Sciences, 18, 2002, Pages 97- 13.

[6]. Friedel J., "Dislocations", Pergamon Press, 1964.



TUNICUT® AUTOMATED PLASMA CUTTING SYSTEMS MADE IN TUNISIA

VELTRU ROBOTIC SYSTEMS

HYUNDAI ROBOTIC SYSTEMS

DENSO ROBOTIC SYSTEMS

OTC ROBOTIC SYSTEMS

GSK ROBOTIC SYSTEMS & CNC CONTROLS

TWECO® Gedik Welding GSK VICTOR THERMAL ARC

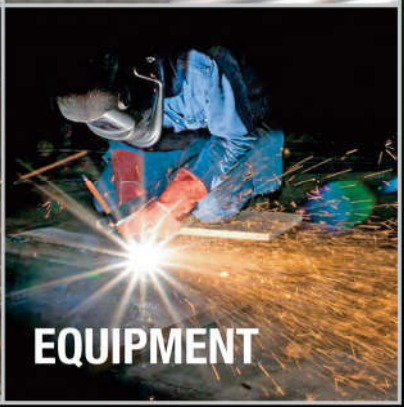
VELTRU HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO.,LTD. K.L.A.IN. robotics

RUE HASSEN THAMI - 5020 JEMMEL TUNISIA +216 73 580 888 +216 73 486 372

GENERAL INDUSTRY

WELDING MACHINES & CONSUMABLES

YOUR PARTNER IN ADVANCED WELDING AND CUTTING EQUIPMENTS



THERMAL DYNAMICS® STOODY Arcair TurboTorch®

DENSO OTC CEBORA welding&cutting

contact@general-industry.com / commercial@general-industry.com

www.general-industry.com

- Nom et Prénom : HADDED Cheker
- Fonction : Gérant
- Etablissement : Société GENERAL INDUSTRY
- Grade : Ingénieur en Mécatronique
- Expérience : Responsable de département recherche et développement au sien de GENERAL INDUSTRY

Soudage robotisé : principe et applications

Résumé : *Dans la recherche de la flexibilité, productivité et de la qualité, les sociétés se sont trouvées dans l'obligation de se tourner vers les robots dans leurs travaux de soudage. Dans cette perspective on va aborder ce sujet en présentant les principaux procèdes du soudage robotisé et leurs applications.*

Mots-clés : *Robot ; Soudage ; TIG ; GMAW ; LBW*

I. Introduction

Les robots industriels sont des éléments essentiels de l'usine d'aujourd'hui et encore plus de l'usine de demain. La demande pour l'utilisation de robots découle du besoin de machines intelligentes, flexibles qui peuvent effectuer des tâches répétitives avec un meilleur rapport coût-qualité. L'industrie la plus active dans l'application de robots est l'industrie automobile.

Le soudage robotisé est l'une des applications les plus réussies de robots manipulateurs industriels. En effet, un grand nombre de produits nécessitent des opérations de soudage dans leurs processus d'assemblage avec une soudure de haute qualité dans des cycles plus courts.

Dans cet article, on détaille tout d'abord les apports des robots industriels. Ensuite on parle de principes et applications de différents procédés de soudage intégrés avec la technologie de robots industriels.

II. ROBOTS INDUSTRIELS

Un robot est une machine capable d'effectuer des tâches selon un programme de façon automatique pour remplacer les humains dans des situations ou ces derniers sont incapables d'effectuer le travail, des situations plus dangereuses, de haute précision ou répétitives.

Les applications typiques des robots industriels sont le soudage, la peinture, la manipulation, le transport, la palatisation, l'assemblage, l'inspection et etc.…

L'achat d'un robot agit sur le processus industriel par :

- L'augmentation de la production et le rendement
- La réduction de coûts de production
- L'amélioration de la qualité des processus
- L'amélioration de la flexibilité des lignes de production
- L'amélioration des conditions de santé et de sécurité du travail
- La réduction de difficultés liées au recrutement

Le robot industriel doit être choisi convenablement à l'application selon les critères suivants :

- Capacité de charge et inertie
- Rayon d'action et degrés de liberté
- Temps de cycle de soudage (vitesse et accélération)
- Tension et ampérage d'arc pour le robot de soudage
- Montage (sol, suspendu, mur, incliné)
- Coût d'achat et d'intégration
- Coût d'exploitation et d'entretien.

Il existe plusieurs moyens de programmation de robots dont on cite :

- Langage TPE : Langage interprété. Très simple et intuitif
- Programmation par apprentissage à l'aide d'un pendant mobile : mise au point des enchainements des trajectoires
- Programmation OFFLINE (PHL) qui réduit le temps de programmation sur site l'immobilisation de l'outil de production et facilite la programmation de trajectoires complexes via des logiciels de CFAO Robotique.

III. TECHNOLOGIE DE SOUDAGE ROBOTISE : PRINCIPE ET APPLICATION

A. Soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode en tungstène (TIG)

Le TIG est un procédé lent qui est utilisé lorsque la soudure est soumise sous de norme de qualité stricte.

Principe : Le procédé TIG est basé sur l'arc électrique établi entre une électrode non consommable en tungstène et les pièces à assembler. L'arc électrique génère une chaleur favorisant la formation d'un bain de fusion au point de contact des pièces à assembler. Le bain de fusion est protégé contre la contamination de l'air par un courant de gaz inerte. Ce procédé nécessite des métaux d'apport pour les plaques d'épaisseur au-dessus de 2 mm, ayant une composition chimique similaire à celle du matériau parent.

Application : Le soudage TIG permet de souder la plupart des métaux et des alliages, particulièrement l'acier inoxydable et l'aluminium. Cette technique est adaptée pour le soudage robotisé des citernes et des conduites en inox. La torche généralement droite est installée sur la poignet du robot et un tube relié à un dévidoir pour fournir le métal d'apport, la pièce peut être installée sur un gabarit fixé sur un dispositif de positionnement angulaire telle est le cas de la figure (1).

Figure 1 : Soudage TIG Robotisé

B. Soudage à l'arc sous gaz protecteur avec fil plein (GMAW)

Le soudage à l'arc sous gaz protecteur avec fil plein (GMAW) est caractérisé par sa rapidité et efficacité, ainsi, cette technique de soudage est actuellement le procédé le plus utilisé dans l'industrie.

Principe : Le soudage se réalise en continu à l'aide d'une torche positionnée au niveau du poignet du robot et le fil se déroule à une vitesse variable à partir d'un dévidoir généralement monté sur ce dernier.

Ce procédé est appelé également MAG ou MIG, selon le type de gaz de protection enveloppant la soudure pour créer une barrière physique qui empêche la contamination par l'air. Ces gaz ne réagissent pas chimiquement.

Application : Cette technique permet le soudage des pièces de différentes épaisseurs. Utilisée beaucoup dans tous les secteurs de l'industrie, elle apporte une flexibilité et un rendement aux petites et moyennes entreprises.

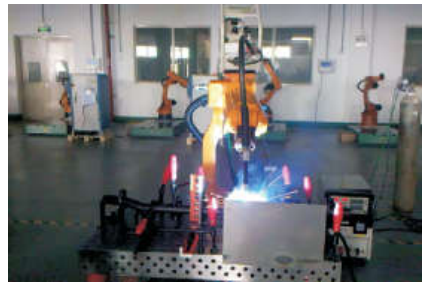


Figure 2 : Soudage Mig robotisé des caissons

C. Soudage par faisceau laser (LBW)

Cette technique assure des propriétés mécaniques et des vitesses d'avance supérieures, une faible distorsion et une absence de scories et de protrusions.

Principe : Le soudage par laser (LBW) utilise la chaleur issue d'un rayon concentré de lumière cohérente pour joindre deux matériaux. Ce procédé peut s'effectuer avec ou sans métal d'apport et pour plusieurs applications, un gaz protégeant le bain de fusion est indispensable.

Figure 3 : Soudage laser robotisé des réservoirs à essence

Application : Ce procédé peut souder plusieurs métaux, dont l'acier, l'inox, l'aluminium, le titane, le nickel et le cuivre. Très utilisé dans le secteur automobile pour souder les échappements et les réservoirs à combustible liquide.

D. Soudage par résistance (RSW)

Il y a deux types de procédés de soudage par résistance : le soudage par point (RSW) et le soudage à la molette (RSEW). Le soudage par point est le plus répandu.

Principe : Le procédé de soudage par résistance consiste à passer un courant électrique de forte intensité entre deux électrodes sans produire d'arc électrique. Placées de chaque côté des deux pièces minces à fusionner, les électrodes laissent passer le courant, ce qui élève la température et amorce la fusion du métal. Le soudage se fait sous l'effet de la chaleur et de la pression qu'exercent les électrodes.

Application : Le RSW sert pour l'assemblage de tôles minces destinées à la fabrication de meubles en métal, de boîtiers métalliques, de casiers et d'étagères ainsi que de treillis faits de tiges métalliques (paniers d'épicerie, grilles, présentoirs, etc.). L'industrie de l'automobile utilise un énorme nombre de robots de soudage par point pour l'assemblage de véhicules (un véhicule nécessite des milliers de points de soudure par résistance).

Figure 4 : Soudage par point robotisé dans le domaine de l'automobile

IV. CONCLUSION

Les robots de soudage sont plus accessibles et abordables aujourd'hui que jamais et plusieurs modèles sont fabriqués à grande échelle. Ils tentent d'offrir plus de flexibilité et robustesse pour répondre à des tâches complexes. Ainsi, la demande pour cette technologie ne cesse d'augmenter avec des prix toujours plus compétitifs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1]. Klas Weman, Procédés de soudage, Dunod, Paris, 2012
[2]. Caroline Godin, Prévention pour le soudage et le coupage, asphme, Deuxième édition, 2014
[3]. J. Norberto Pires, Altino Loureiro and Gunnar Bölmsjo, Welding Robots Technology, System Issues and Applications, Springer Science, 2006

ÉTUDES, CONCEPTIONS, FABRICATIONS ET MONTAGES
SYSTÈMES DE MANUTENTION

Rampe de chargement mobile certifiée

Monte charge par adhérance

Monte charge hydraulique

Niveleur de quai

Pont roulant

ÉTUDES, CONCEPTIONS, FABRICATIONS ET MONTAGES
SYSTÈMES DE CONVOYAGE

Sauterelle porte sacs hydraulique certifiée

Vis archimede

Élevateur à godets

Convoyeur à bande

Convoyeur à rouleaux

CHAUDRONNERIES, CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES
ET MÉCANIQUES, ÉQUIPEMENTS INDUSTRIELS
EN INOX ET ACIER NOIR

Mélangeur à pâles

Citerne routière

Citernes de stockage en inox

Roue d'écluse

Silos de stockage

Unité de production

Cuve de process

Cuves

Tél.: +216 74 469 533 / **Fax:** +216 74 469 535 / **GSM:** +216 26 424 216
E-mail: contact@slpi.com.tn / **Web:** www.slpi.com.tn / **Adresse:** Rte de Gabes Km 3 Z.I. Sidi Salem, Sfax

Solutions Soudage
pour tous les Secteurs de l'Industrie

Bureau Lincoln Electric Tunisie
Sfax Eljadida, Rte de GREMDA Km 0.5
Imm. Jebli Centre 4éme étage 402/A
3027 Sfax Tunisie
Tél: +216 74 41 51 10
Fax: +216 74 41 51 09
Bassel S. MAHMOUD
Email: bmahmoud@lincolnelectric.eu
Ilyes BEN HAMADOU
Email: ibenhamadou@lincolnelectric.eu

www.lincolnelectric.eu

LINCOLN ELECTRIC
THE WELDING EXPERTS

- Structure de rattachement : Ecole Nationale Polytechnique
- Nom et Prénom : BOUABDALLAH Mabrouk
- E-mail : mabrouk.bouabdallah@enp.edu.dz
- Grade académique : Professeur

Domaines de recherche :

- Science des matériaux et phénomènes liés aux transformations structurales (changement de phase, précipitation, transformations martensitiques thermoélastiques, cinétique, ...); Cristallographie.
- Méthodes expérimentales liées à l'analyse des phases et des transformations structurales.
- Alliages à mémoire de forme ; Métallurgie des poudres et frittage ; Métallurgie de soudage.

Rôle des transformations structurales dans les cordons de soudure : cas des aciers inoxydables

***Résumé** : Les transformations structurales dans les cordons de soudure jouent un rôle prépondérant sur les propriétés de résistance des installations. Dans le cas des soudures des aciers inoxydables, il est observé, selon les nuances, la formation de phases fragilisantes soit dans la zone fondue, soit dans le métal avoisinant. Dans le présent travail, plusieurs cas de figure de cordon sont présentés : les soudures dans les aciers austénitiques, austéno-ferritiques (duplex), martensitiques, et les soudures hétérogènes. Les causes et effets de la formation de précipités, de phases intermétalliques ou de phases d'équilibres durant l'opération du soudage sont étudiés. Des solutions basées sur des traitements thermiques appropriés sont proposés.*

***Mots-clés :** soudage homogène ; soudage hétérogène ; acier inoxydable martensitique ; acier inoxydable austénoferritique ; phases fragilisantes.*

I. Introduction

La définition du soudage la plus fréquente dans la littérature est en relation avec la notion de « continuité ». L'opération doit donc permettre d'établir la continuité entre les deux partie à assembler (norme ISO/R 857). Dans le cas des métaux et alliages, la continuité implique, à l'échelle macroscopique, l'absence de tout produit non métallique dans le cordon de soudure. Auquel cas la soudure est défectueuse et par conséquent, elle doit être refaite. Il faut noter ici qu'une fissure peut être considérée comme constituant non métallique. D'après la définition, la présence d'hétérogénéités structurales ou chimiques au sein du cordon n'altère pas le sens de la continuité. De même, la présence de composés intermétalliques de tailles microscopique est admise dans le cordon de soudure. Aujourd'hui, les soudures dites hétérogènes soit en utilisant un métal d'apport de composition différente de celle du métal de base, soit en joignant deux alliages de compositions chimiques différentes sont couramment pratiquées.

La soudure nécessite un apport d'énergie. Cette énergie peut être d'ordre chimique par combustion de gaz, ou physique telles que l'arc électrique ou la radiation (faisceau d'électrons ou faisceau Laser). Cette énergie peut également être d'origine mécanique (soudage par friction). Les techniques qui en découlent sont très diversifiées et sont adaptés à la situation du terrain. Les cordons de soudure sont systématiquement contrôlés par des tests dits non destructifs pour rechercher des défauts éventuels tels que les fissures, les cavités

ou les inclusions non métalliques. Les tests dits destructifs sont pratiqués pour évaluer la conformité des propriétés de la soudure avec les normes en vigueur. Souvent, les imperfections du cordon se manifestent en service (rupture fragile, corrosion…). L'origine de ces ruptures sont dû à la présence de phases indésirables soit dans le métal fondu, soit dans le métal avoisinant, soit les deux zones [1,2].

II. SOUDURE DE L'ACIER MARTENSITIQUE

A. Soudure sans métal d'apport

La soudure obtenue est considérée comme une simulation de soudage par métal d'apport parfaitement semblable au métal de base. Le but de cette opération de soudage est de constater l'effet de la soudure sur la zone affectée par la chaleur (ZAT) et d'avoir également une simulation primaire de soudure parfaitement homogène. La présente manœuvre est une excellente approche pour étudier la précipitation de la ferrite δ dans la zone affectée thermiquement et de constater également le pourcentage d'austénite résiduelle probable après soudure.

Sur la figure 1 (a), apparait une bande de ferrite alignée parallèlement au front de fusion. La figure 1 (b) montre que cette ferrite se forme dans les anciens joints de grains austénitiques. Cette ferrite se forme donc aux hautes températures durant le cycle thermique lorsque la température atteint des seuils supérieurs à 1400°C [3].

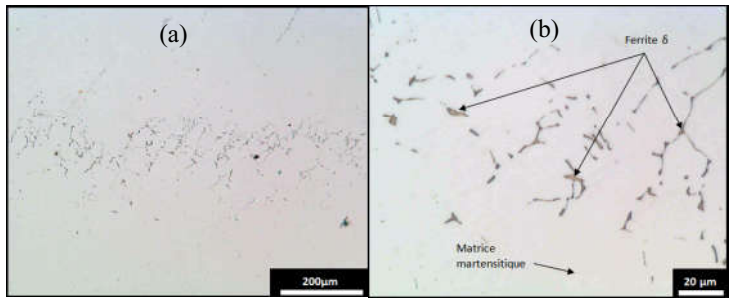


Figure 1 : Formation de zone en ruban de ferrite δ parallèle au front de fusion, NaOH 20V.

La proportion de la ferrite ainsi que sa morphologie dépend étroitement des conditions du soudage, en particulier le courant appliqué dans la technique du TIG. Le tableau 1 résume l'ensemble des résultats obtenus par analyse d'image à fin d'estimer l'augmentation relative de la fraction de la ferrite δ en fonction du courant de soudage. On peut constater que la bande ferritique devient étroite lorsque le courant de soudage diminue. De même, sa fraction volumique se trouve très réduite. Il est important de rappeler que ce résultat est obtenu par soudage en fusion sans métal d'apport et en une seule passe. Les passes successives de soudage peuvent donner lieu à d'autres phénomènes microstructuraux.

Tableau 1 : Résultat de l'estimation de la fraction de la ferrite δ par analyse d'image pour différents ampérages de soudage [3].

Ampérage de soudage TIG	Distance moyenne entre ferrite et zone de fusion (µm)	Largeur moyenne du ruban de ferrite (µm)	Estimation relative des fractions de ferrite	Erreur relative maximale (dans 5 mesures) $\frac{\sigma_{max}}{\bar{x}}$
200 A	300	153	8.01%	9.4%
120 A	328	32	2.36%	4.6%
65 A	278	3	0.20%	1.7%

B. Soudage par métal d'apport austénitique

L'essai d'un soudage par métal d'apport austénitique réalisé en deux passes par l'électrode enrobée a donné une soudure sans fissuration. La micrographie de la zone affectée par la chaleur révèle aussi la présence d'une bande ferritique semblable à celle de la soudure homogène (figure 2). Ce phénomène s'explique par le fait que le métal de base supermartensitique subit le même cycle thermique durant le soudage.

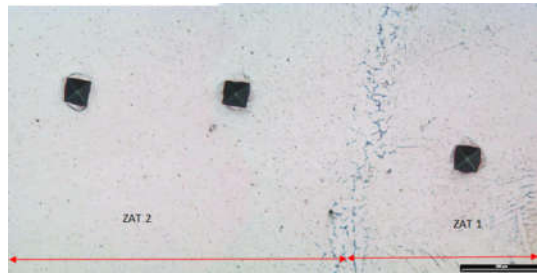


Figure 2 : Bande ferritique et empreintes de microdureté dans la ZAT [3].

Les tests de résistance aux chocs obtenus par essai de Charpy (tableau 2) montrent que la soudure homogène possède une résilience inférieure à celle du métal de base mais reste suffisamment élevée. Par contre, la soudure hétérogène présente une chute importante de la résilience. Il faut remarquer tout de même que la résilience mesurée est considérée comme admissible dans les applications de transport des hydrocarbures.

Tableau 2 : Résilience des différentes soudures comparées à celle du métal de base.

	Position entaille	Valeur de résilience (J/cm^2)
Métal de base à l'état reçu	Métal de base	241
Joint de soudure homogène	Joint de soudure	213
Joint de soudure avec métal d'apport en acier inoxydable austénitique	Joint de soudure	107

III. Soudure des aciers duplex

La soudure est exécutée à l'aide du TIG avec un métal d'apport de même composition. La microstructure obtenue diffère dans la zone fondue et le métal de base par la morphologie (structure de solidification dans la ZF et structure en bande de laminage dans le MB). Les proportions de la ferrite et de l'austénite restent sensiblement voisines [4]. Cependant, en raison du cycle thermique lors du soudage, la structure est toujours l'objet d'un phénomène de précipitation de phases intermétalliques (σ). La formation de ces précipités débute dans les interfaces δ/δ et se propage à l'intérieur des grains ferritiques (figure 3) [4].

La figure 4 montre clairement que le séjour de la structure de la ZAT et également de la ZF dans l'intervalle de température 800-950°C provoque une chute dramatique de la résilience du matériau en raison de la formation de la phase intermétallique σ [4,5,6]. Pour éviter la formation de cette phase, il est préconisé de réaliser un traitement dit d'hypertrempe. Ce traitement consiste en une homogénéisation à haute température (1050°C) suivit d'une trempe.

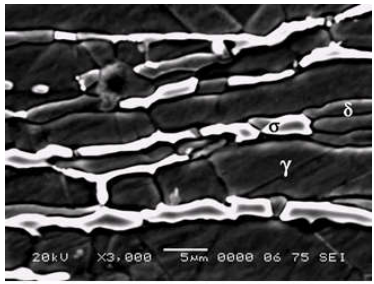


Figure 3 : formation de la phase intermétallique σ dans les grains ferritiques.

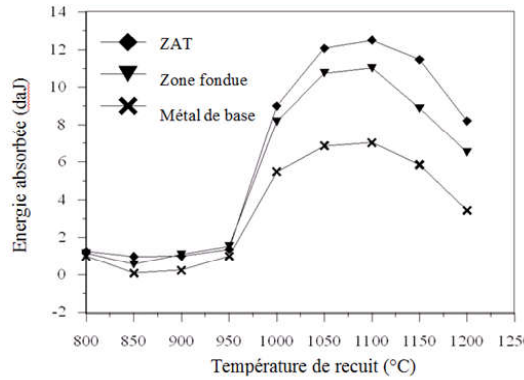


Figure 4 : Evolution de l'énergie absorbée lors des essais de résilience en fonction de la température de recuit.

IV. Conclusion

A la suite de cette étude, on peut conclure que :

- Dans les soudures des aciers supermartensitiques, la phase ferritique se forme dans la ZAT mais n'as pas une grande influence sur les propriétés de résilience, particulièrement lorsque la soudure est homogène.
- Pour réduire le taux de ferrite dans les soudures des aciers martensitiques, il convient de contrôler le courant de soudage, et le maintenir à son minimum requis.
- La résilience des soudures hétérogènes martensite/austénite est relativement basse mais reste admissible pour les applications.
- Les soudures dans les aciers duplexe nécessitent un refroidissement rapide, sinon un traitement d'hypertrempe après soudage est nécessaire pour éliminer la phase intermétallique σ.

References bibliographiques

[1]. Van der Winden H., Toussaint P., Proceedings "Supermartensitic Stainless Steels 2002" Conference, Brussels, October 3–4, 2002.
[2]. Guang-Jun Cai, Hans-Olof Andrén, Lars-Erik Svensson : Metallurgical and Materials Transactions A, July 1997, Volume 28, Issue 7, pp 1417-1428.
[3]. A Nouri, M Bouabdallah, Integrity of Pipelines Transporting Hydrocarbons, 91-98
[4]. R Badji, M Bouabdallah, B Bacroix, C Kahloun, B Belkessa, H Maza, Materials Characterization 59 (4), 447-453
[5]. R Badji, M Bouabdallah, B Bacroix, C Kahloun, K Bettahar, N Kherrouba, Materials Science and Engineering : A 496 (1), 447-454
[6]. R Badji, B Belkessa, H Maza, M Bouabdallah, B Bacroix, C Kahloun, Materials Science Forum 467, 217-222

Univers Inox industriel

www.groupe-univers-inox.com

Tél/Fax: (+216) 73 810 464
GSM: (+216) 50 19 10 04
21 62 19 70
email: u2i@groupe-univers-inox.com
Rue Omar El mokhtar - Kabissa
4022 Akouda - Sousse - TUNISIE

La soudure orbitale: La meilleure solution pour souder les tubes inox

La soudure orbitale est le moyen technique le plus adéquat pour souder tout diamètre de tubes propres.

U2I répond donc de façon optimum à la demande du client par ce procédé qui offre une excellente qualité de soudure très régulière ainsi qu'une bonne tenue mécanique.

- **Soudure orbitale des tuyauteries INOX**
  [exigence pharmaceutique - alimentaire - chimique]

- **Installation & montage des lignes de production**

Pour ceux qui cherchent LA QUALITÉ CERTIFIÉE

UIT

Représentant officiel

AXXAIR Tunisie

Pour ceux qui cherchent LA QUALITÉ CERTIFIÉE

Vente matériel et consomambles pour

Coupe orbitale
Chanfrein orbital
Soudage orbital
Dressage de tubes

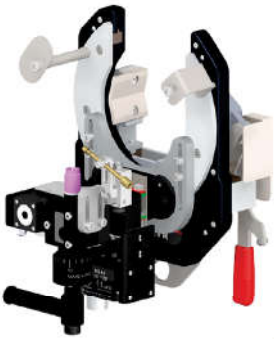
Soudage en ligne orbitale

Générateurs

Dressage

Chanfrein orbital

Soudage préfabrication orbital



Tél/Fax: (+216) 73 810 464
GSM: (+216) 50 19 10 04
21 62 19 70
email: uit@groupe-univers-inox.com
Rue Omar El mokhtar - Kabissa
4022 Akouda - Sousse - TUNISIE

- Amen Allah BOUKER
- Gérant de la société Univers Inox Tunisie UIT
- Représentant officiel de la marque AXXAIR en Tunisie
- Gérant de la société Univers Inox Industriel U2I

Soudage Orbital

Résumé *: Le soudage orbital est un procédé de soudage spécial pendant lequel un arc tourne sans interruption à au moins 360° autour d'une pièce fixe (composant cylindrique, tel qu'un tube).*
Les composants de base de chaque dispositif de soudage orbital sont le générateur avec commande, la tête de soudage et éventuellement le dévidoir de fil. De nombreux facteurs peuvent avoir une influence sur la soudure obtenue. Parmi les principaux paramètres, citons la hauteur d'arc, l'intensité et la fréquence de pulsation du courant de soudage, la vitesse de soudage, le gaz de protection, le matériau de base, le métal d'apport et la préparation des bords. Une soudure de haute qualité nécessite un savoir-faire suffisant pour choisir la bonne combinaison de paramètres.

Mots-clés : *soudage orbitale ; TIG ; énergie de soudage ; AVC*

I. Introduction

Le soudage orbital a été développé dans les années 1960 afin de répondre aux attentes de l'industrie aéronautique. Afin d'éviter l'endommagement par rupture des pièces soudées, utilisées à une vitesse proche de celle du son, des travaux ont impulsé le développement du soudage orbital.

Parmi les procédés de soudage, le soudage TIG orbital est un cas où le soudage s'automatise très facilement. Dans ce cas, la torche est mobile et la pièce fixe. Ce procédé est particulièrement bien adapté au soudage des tubes.

Les choix des paramètres de soudage, la vitesse, le courant, les pulsations,…, dépendent de la matière, de la configuration, des masses de chaque pièce à assembler, ainsi que d'autres éléments peuvent influencer ces choix. Il s'agit de contrôler l'énergie transmise aux pièces tout au long du procédé de soudage pour obtenir une pénétration régulière et positive. Cette énergie dépend de l'augmentation de température et de la position du bain et donc l'influence de la gravité sur le bain.

Les postes à souder AXXAIR sont toutefois dotés d'un système de programmation par auto-calcul qui permet de générer rapidement et facilement un programme à l'aide des critères de base : Type de tête ; Mode de soudage ; Diamètre tube ; Epaisseur tube ; Nombre de secteur.

II. Energie de soudage

Il faut maîtriser l'énergie de soudage. Cette énergie est donnée par la formule :

$$E = \frac{U.I}{V}.60 \qquad (1)$$

avec :

- E : correspond à l'énergie de soudage exprimée en Joules/cm
- U : correspond à la tension d'arc exprimée en Volts (V)

- I : correspond au courant de soudage moyen exprimé en ampères (A)
- V : correspond à la vitesse de soudage exprimée en cm/min

Selon la formule (1), il faut maîtriser trois grandeurs : la tension de l'arc, le courant moyen et la vitesse de soudage.

Il faut maîtriser ces paramètres tout au long de la rotation de la torche autour du tube. Pour se faire le tube est décomposé en secteur sur lesquels sont programmés les paramètres, voir figure 1. Le nombre total de secteurs que le système peut accepter est de 20. En général, on utilise 4 secteurs. Sur les petits diamètres qui chauffent beaucoup plus vite, il faut diminuer l'énergie également plus vite donc il faut augmenter le nombre de secteurs qui sera en général 12.

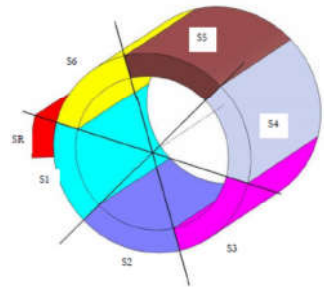


Figure 1 : Décomposition du tube en secteurs.

III. Courant haut

Une des règles empiriques utilisée dans cet auto-calcul est la valeur de courant haut qui est l'élément clé pour l'énergie de soudure.

Cette règle est la suivante :

$$I_{haut} = 40 \times \textit{épaisseur du tube} \qquad (2)$$

Il est donc impératif comme décrit dans les paramètres physiques en ce qui concerne le tube que les tolérances notamment sur l'épaisseur du tube soit parfaitement connu et maîtrisé.

Dans tous les cas il faut toujours essayer d'avoir des tubes de haute qualité qui coûtent certes plus cher mais qui évitent bien des dépenses inutiles lors du processus de soudage orbital.

IV. Controle du courant

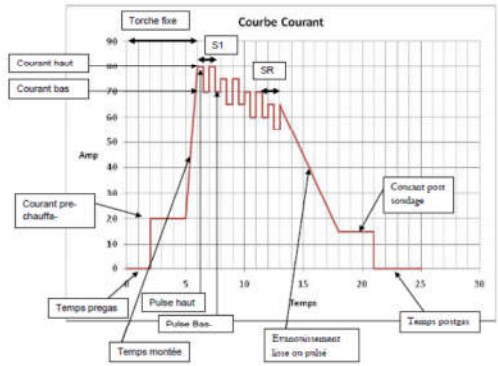


Figure 2 : Evolution du courant en fonction des secteurs.

La figure 2 montre l'évolution du courant en fonction des secteurs donc de la progression de la torche autour du tube. C'est également ce qui conditionne l'énergie de soudage.

V. Controle de la tension d'arc

La tension d'arc est le deuxième élément constitutif de l'énergie de soudure. Cette tension d'arc est directement liée à la distance électrode-tube.

Les machines à souder orbitales sont de trois types par rapport à la tension d'arc :

A. Pas de contrôle possible :

Dans le cas des têtes fermées l'importance de la géométrie du tube est cruciale afin de limiter le plus possible les variations de distance électrode-tube et donc les variations d'énergie et de résultat de soudure.

La distance électrode-tube dépend directement de l'ovalisation du tube et ne peut pas être compensée mécaniquement.

B. Contrôle de la tension par suivi mécanique :

La distance électrode tube peut être constante si la torche de soudure est montée sur un chariot doté d'un suivi mécanique de diamètre extérieur du tube. C'est le cas pour les machines de préfabrication et les têtes ouvertes. Dans ce cas la tension d'arc est une constante et ne varie plus durant la soudure. Les deux seuls éléments pour contrôler l'énergie sont donc le courant et la vitesse.

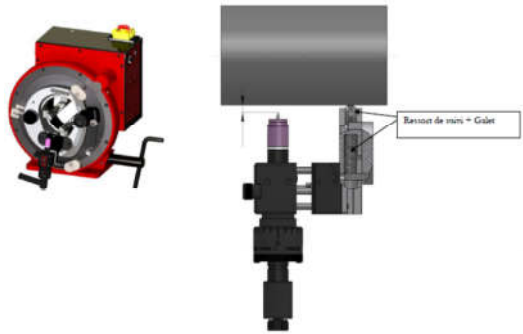


Figure 3 : Suiveur mécanique.

Sur les têtes ouvertes, le suivi est mécanique et assuré à l'aide du bras avant monté sur ressort, voir figure 3.

C. Contrôle motorisé de la tension « AVC »

Le contrôle motorisé de la tension d'arc communément appelé AVC qui signifie Arc Voltage Control, signifie qu'à chaque instant la tension d'arc est mesurée, comparée à une tension référence et le système est asservi du fait que la torche est montée sur un chariot motorisé qui déplace l'électrode instantanément pour réaliser la tension référence.

Ces système sont disponibles sur les têtes préfabrication et les têtes ouvertes.

L'AVC est très utile dans deux cas suivants :

- Lorsqu'on ne peut palper le diamètre extérieur mécaniquement pour ne pas endommager la surface extérieur ou par faute de place suffisante et de proximité du bain
- Lorsqu'on soude avec du fil et qu'on ne maîtrise pas parfaitement le taux de dépôt sous l'électrode ce qui influe bien entendu sur la hauteur d'arc. Dans ce cas l'AVC permet de ne jamais toucher le bain de soudure.

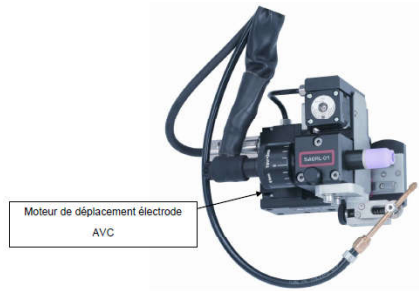


Figure 4 : Arc Voltage Control.

D. Contrôle de la vitesse de soudage

La vitesse de soudage est un élément clé. Empiriquement les calculs des autres paramètres sont réalisés sur la base d'une vitesse de soudage de 100 mm/min.

Comme cette vitesse est au dénominateur de la formule de l'énergie, l'augmenter diminue l'énergie et la diminuer augmente l'énergie. La vitesse est régulée afin d'être sûr de sa valeur en cours de soudage.

E. Mode de soudage

Les différents modes de soudage disponibles sont :

- Pointage
- Fusion
- Fusion + Fil
- Fusion + oscillation +Fil

Ces modes de soudage sont choisies en fonction de l'application.

VI. CONCLUSION

Plusieurs modes peuvent être utilisés sur les postes AXXAIR selon les codes utilisateurs :

- SOUDER : Souder permet de lancer la page de démarrage d'une soudure. Dans ce mode l'opérateur n'a aucun accès aux paramètres de soudure et ne peut donc que lancer une soudure et l'arrêter.
- DYNAMIQUE : Ce mode est utilisé en phase de développement des paramètres de soudage ou pour des soudures très délicates. Ce mode permet de choisir les paramètres que le soudeur peut modifier en dynamique durant l'opération de soudage. Ce mode permet d'obtenir plus rapidement le résultat de soudure attendu surtout par rapport à la pénétration de soudure. Dans ce mode, il est impératif d'avoir une fenêtre de visualisation sur la protection de gaz envers.

Le générateur de courant comporte un système d'acquisition de données permettant de sauvegarder les paramètres réels de soudage. Ces paramètres sont par défaut enregistrés toutes les secondes sur la carte Flash de la Télécommande. Cette carte permet l'enregistrement de 999 soudures, puis le système écrase à nouveau la N°1 et ainsi de suite. Il est donc important d'imprimer les acquisitions lorsqu'on fait un suivi qualitatif des soudures effectuées.

XPERT-MECA

Fondée par une équipe d'ingénieurs expérimentés en mécanique, automatisation ainsi qu'en robotique d'où XPERT-MECA est partenaire officiel avec KUKA ROBOTS leader mondial en robotique industriel.

KUKA
OFFICIAL SYSTEM
PARTNER

Nous proposons des solutions techniques complètes et sur mesure pour vos robots de manutention, soudure, découpage LAZER, polissage, conditionnement et de palettisation…
Nous nous adaptons à vos produits et à votre procès de production pour la conception et la réalisation d'une solution

Avec les robots ARC-Welding, XPERT-MECA offre des solutions optimisées spécialement pour le soudage à l'arc, à un prix intéressant. Grâce à la capacité de charge de 16 kg et aux portées allant jusqu'à 3,1 m, l'équipement de soudage peut atteindre même des cordons de soudure difficiles d'accès pour garantir une qualité excellente et constante des cordons de soudure.

NOTRE EXPERIENCE FAIT LA DIFFERENCE

Adresse : Avenue de la république Akouda 4022 Sousse, Tunisie

Téléphone : +216 73 810 346

Fax : +216 73 810 347

Site web : www.xpert-meca.com

E-mail : info@xpert-meca.com

La qualité
perfectionnée.
Jamal EL BARK
Responsable Commercial
Région Maghreb
KUKA Automatisme Robotique SAS
7 Rue du Capitaine Vuillanier
Ain Sebaa
20 250 Casablanca
kuka.ma@kuka.fr
Mobile +212 6 61 11 12 83
Soudez jusqu'à la perfection. Flexibilité optimale, résulatats excellents et constants, précision sans compromis. Les robots KUKA ont perfectionné le soudage à l'arc et contribuent ainsi au succès de votre production. Les opération d'automatisation, même complexes, peuvent être exécutées en toute efficacité par le biais de nos solutions robotique d'avant-garde. Notre engagement : votre réussite.
Pour tout savoir sur nos spécialistes en soudage : kuka.fr
KUKA

- Wael BEN LAMINE
- Gérant XPERT-MECA
- Jamal EL BARK
- Responsable KUKA Maghreb

Les robots de soudure, technologie et application

Résumé *: Les robots de soudage sont de plus en plus utilisés ces dernières années. La productivité doit augmenter et les mécanismes de contrôle ont été améliorés. De plus, les robots et les installations de soudage sont bon marché, les temps de programmation sont courts et les systèmes visuels sont de plus en plus perfectionnés. Avec les robots KUKA et le savoir-faire de XPERT-MECA, la soudure est actuellement automatisée efficacement.*

Mots-clés *: robot ; soudage ; programmation*

I. Introduction

XPERT-MECA est une société spécialisée dans le domaine de la robotique industrielle et plus précisément dans la soudure robotisée, notamment avec les robots KUKA.

Les robots KUKA perfectionnent le soudage à l'arc sous protection gazeuse et contribuent ainsi au succès des premières marques automobiles ainsi que de leurs sous-traitants. Qualité Made in Germany : sa mission principale est de simplifier les tâches d'automatisation les plus complexes à l'aide de solutions innovantes.

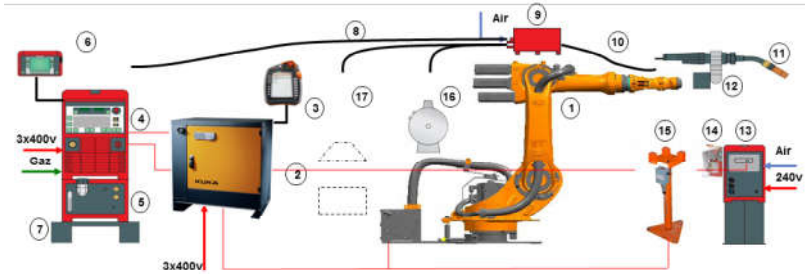
Les avantages d'un robot de soudage sont :

- La qualité de soudage élevée.
- La précision.
- La reproductibilité et la productivité élevées.
- Le débit plus élevé.

Un robot de soudage offre une flexibilité qui permet de disposer, en peu de temps, d'une solution d'automatisation complète. Les modifications à apporter dans le processus de production sont souvent rapidement possibles sans trop d'interventions. De plus, le cœur – le robot – maintient toujours une réserve élevée car le réglage sera possible même pour une application totalement différente.

II. LES ROBOTS DE SOUDURE DE KUKA

KUKA est une société de soudeurs - premier métier des fondateurs de KUKA (1898), qui dispose d'une large gamme de robots soudeurs avec un rayon d'action variant de 1412 à 3102 mm, des axes linéaires pour augmenter le champs d'action de l'équipement et des positionneurs pour souder dans la bonne position, ainsi que des logiciels spécifiques issus de l'expérience.



1	Robot KRxxLxx	10	Faisceau de torche Robacta
2	Baie KRC2	11	Col de cygne Robacta
3	Boitier d'apprentissage SmartPad	12	Détecteur choc torche
4	Générateur TPSx000	13	Nettoyeur de torche (option)
5	Refroidisseur FK4000	14	Coupe fil (option)
6	Programmation générateur RCU500i (option)	15	Contrôle et Correction Centre Outil (option)
7	Socle support (option)	16	Gaine et support bobine sur axe 1 (option)
8	Liaison générateur/dévidoir	17	Gaine et couplage sur cône de fût (option)
9	Dévidoir VR1500 avec montage sur axe 3		

Figure 1 : Le robot-métier KUKA pour le soudage à l'arc (acier ou aluminium)

A. ArcTech

Avec les produits KUKA.ArcTech, des applications de soudage à l'arc peuvent être mises en service et programmées rapidement. La commande est ce faisant possible par la tension de pilotage ou par des numéros de tâches, selon la fonction installée.

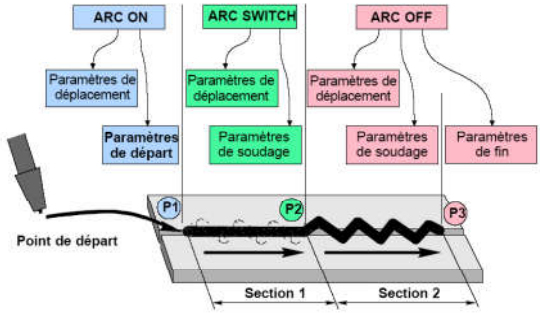


Figure 2 : Principe de programmation

La programmation (Figure 2) a lieu en trois phases qui sont notés P1, P2 et P3. En effet, la phase de démarrage, nommée ARC ON contient le déplacement vers la position d'allumage (= point de destination) ainsi que les paramètres d'allumage, de soudage et de balayage.

L'instruction ARC ON est terminée lorsque l'arc est allumé et que les paramètres de soudage ont été activés. La seconde phase P2, ARC SWITCH est utilisée afin de diviser un cordon en plusieurs sections. Une instruction ARC SWITCH contient les paramètres de déplacement, de soudage et de balayage pour une des sections. Quant à la troisième phase P3 ARC OFF, termine le processus de soudage à la position de cratère final (=point de destination).

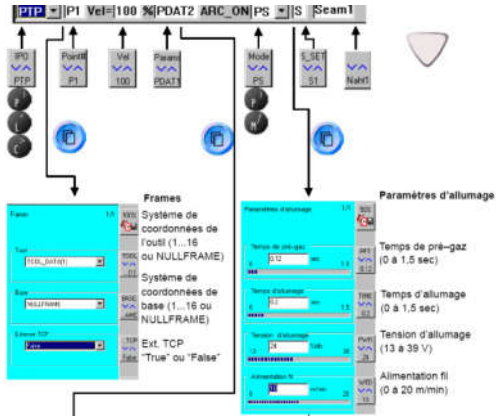


Figure 3 : Formulaire et listes de paramètre pour l'instruction ''ARC ON''

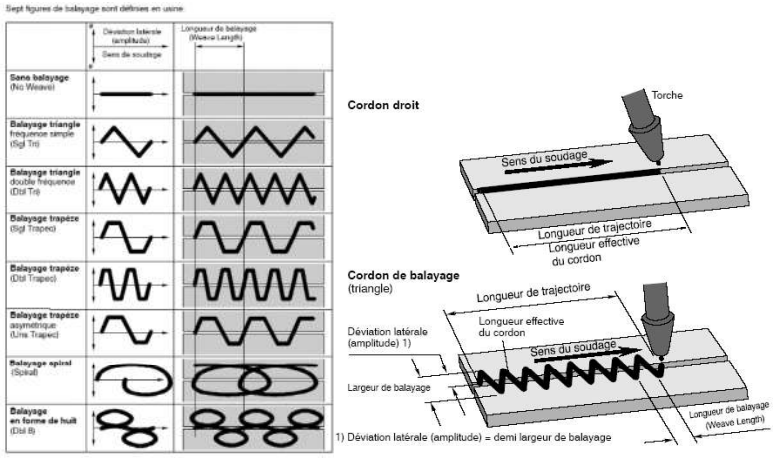


Figure 4 : Formulaire et listes de paramètre pour l'instruction ''ARC ON''

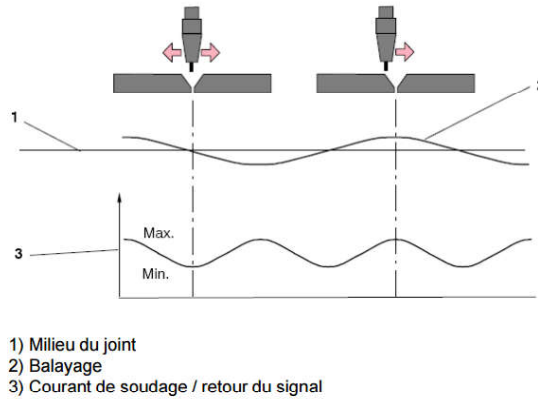


Figure 5 : Principe de mesure

B. Les options :

Arc Tech Advanced est équipé de plusieurs options et fonctionnalités qui facilitent le travail du soudeur. En effet, ARCSENSE permet le suivi de trajectoire, TOUCHSENSE permet la détection de joint ou le recalage des pièces et le TCP unit permet de contrôler et recaler automatique le centre d'outil

C. SEAM TECH (suivi de joint)

Est un programme pour des systèmes de capteurs travaillant automatiquement pour le suivi du cordon. Il est utilisé également avec un capteur de coupe optique pour le soudage au laser et pour le soudage à l'arc.

D. LE MULTI-PASSES

Il est possible avec la commande automatisée des robots KUKA, d'utiliser simplement les fonctionnalités MultiLayer et multi-path pour les cordons de soudures. Le Multilayer permet de souder un cordon avec plusieurs passes (couches) ; quant au Multi-path, il permet la soudure d'une couche avec plusieurs trajectoires.

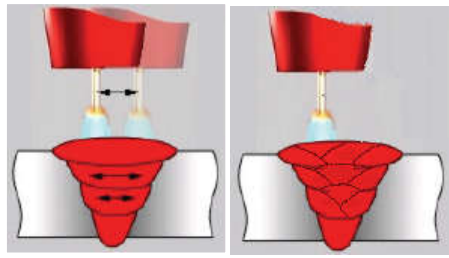


Figure 6 : Multilayer - Multi-path

Une question se pose : Pourquoi utiliser multi-layer /-path? La réponse est bien sûr pour rendre possible des soudures qui ne l'étaient pas, à savoir :

- Épaisseur du métal trop importante pour un seul cordon.
- Métal ne pouvant accepter une température trop élevée.
- Pour minimiser la déformation.

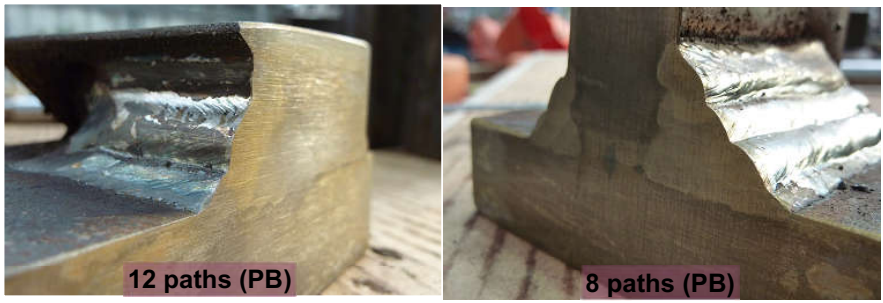


Figure 7 : Soudure avec Multi-path

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

Fronius
SHIFTING THE LIMITS

WELDING WITHOUT POWER CABLES IS A REALITY. NOW THAT WE HAVE DEVELOPED THE ACCUPOCKET.

/ Unlimited mobility for the welder. Repair-welding high up in the mountains, field erection jobs out in the country or welding work at exposed locations: until recently, jobs like these always involved costly and time-consuming preparations. Long mains supply leads or big, heavy 8 kVA generators are now no longer necessary. Because AccuPocket ushers in a new and unprecedented era of mobile welding.

ACCUBOOST TECHNOLOGY

LE SOUDAGE PARFAIT

- GALLALI Badreddine
- Chef de projet R&D chez IMECA
- ext.bgallali@mecamix-rd.com
- Tel : (+216) 20 561 064
- Résidence Zahret El-Bouhaira, App D02
  2045, Les jardins du lac, Tunis

Développement d'un outil de simulation du procédé de soudage à l'arc

Résumé : *La modélisation du procédé de soudage à l'arc est une problématique généralement abordée en ignorant certains des plusieurs phénomènes physiques qui y interviennent. MXDV_WELD est un outil, proposé par la société IMECA, qui tient compte de la complexité et le couplage multiphysique fort entre la physique des plasmas, l'électromagnétisme, la mécanique des fluides, le transfert thermique, la métallurgie et la mécanique des solides. La modélisation passe obligatoirement par le plasma d'arc, le bain de fusion et le calcul thermomécanique. Ceci est en vue d'avoir une pièce soudée qui a le comportement optimal vis-à-vis de la fatigue.*

Mots-clés : *Modélisation ; Soudage à l'arc ; Multiphysique ; Fatigue.*

I. Introduction

Le procédé de soudage est un des procédés les plus utilisés pour l'assemblage des pièces mécaniques. La résistance à la fatigue des structures soudées dépend fortement de la qualité des zones soudées. Par conséquent, la prédiction de l'état mécanique résiduel suite au soudage devient une nécessité.

Plusieurs outils ont été développés pour la modélisation du procédé de soudage. Mais aucun de ces outils ne prend en compte tous les phénomènes physiques mis en jeu lors de l'opération du soudage.

La méthodologie proposée par IMECA est une approche globale innovante et multiphysique permettant de prendre en compte tous les phénomènes : plasma d'arc, bain de fusion et couplage thermomécanique. Elle permet, entre-autre, d'avoir une prédiction assez réaliste du comportement à la fatigue de la structure soudée.

II. Description de l'outil propose

Les différents phénomènes physiques intervenants dans le procédé de soudage sont les suivants :

1. La physique des plasmas
2. L'électromagnétisme
3. La mécanique des fluides
4. Les transferts thermiques
5. La métallurgie
6. La mécanique des solides

L'objectif de notre outil, appelé MXDV_WELD, est résumé dans les 2 points suivants :

- Pouvoir, à partir des paramètres de soudage (tension, courant, gaz, vitesse, etc.), prédire la métallurgie et la géométrie du cordon, les contraintes résiduelles et les déformations plastiques, ainsi que le risque d'amorçage de fissures par fatigue.
- Pouvoir optimiser les paramètres de soudage afin d'obtenir la meilleure soudure possible qui permet d'avoir le moins de risque de fatigue en service.

La figue 1 résume les différentes étapes de la modélisation dans MXDV_WELD.

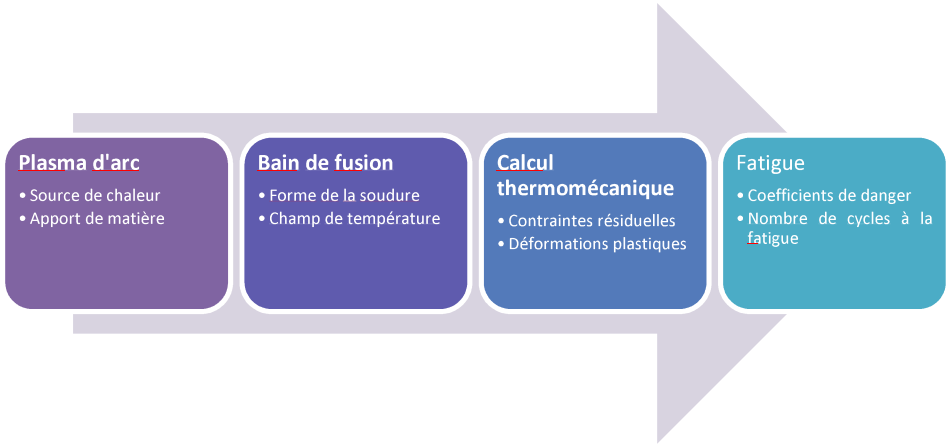


Figure 1 : Etapes de modélisation du procédé de soudage

III. LES ETAPES DE LA MODELISATION

E. Le modèle de l'arc (PLASMA)

A partir des données introduites par l'utilisateur, MXDV_WELD se charge de trouver la source de chaleur imposée sur la pièce.

Plusieurs facteurs affectent le résultat de cette phase : la tension du courant, l'intensité, la nature du gaz, la vitesse de la torche, la vitesse de dévidage, etc.

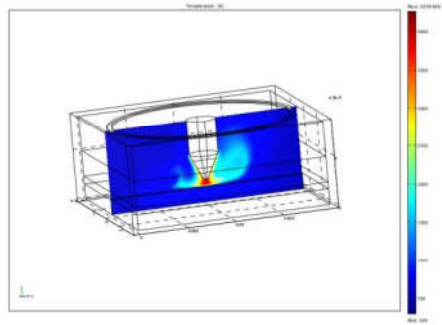


Figure 2 : Modélisation du plasma d'arc

F. Le bain de fusion

Il s'agit de l'étape la plus importante dans le procédé. Le bain de fusion est le siège de la majorité des phénomènes physiques intervenant dans le soudage, à savoir l'électromagnétisme, la mécanique des fluides et les transferts thermiques.

Sa modélisation permet d'obtenir le champ de température dans toute la pièce ainsi que la géométrie finale du cordon de soudure.

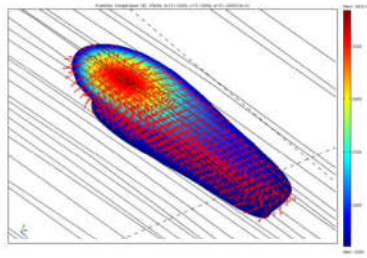


Figure 3 : Modélisation du bain de fusion

G. Le calcul thermomécanique

Les résultats des deux phases précédentes sont utilisés comme entrées pour le calcul thermomécanique. En effet, le champ de température induit un chargement thermique dans la pièce soudée qui provoque un chargement mécanique de la pièce bridée. La réponse de la structure à ce chargement est l'état résiduel (contraintes résiduelles et déformations plastiques) nécessaire pour le calcul à la fatigue.

Notons que le calcul dans cette phase nécessite la prise en compte du couplage entre la métallurgie, la mécanique des solides et le transfert thermique.

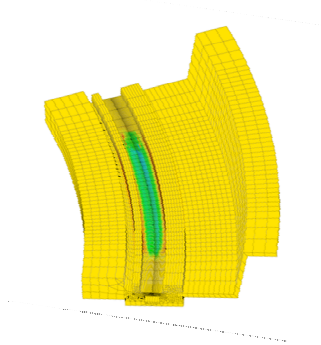


Figure 4 : Calcul thermomécanique

H. Post-traitement de la fatigue

Les structures soudées sont généralement soumises à des chargements en service cycliques. Ils sont donc desérieux candidats au phénomène de fatigue.

MXDV_WELD permet de prédire la durée de vie vis-à-vis de la fatigue grâce au critère de DANGVAN, mondialement reconnu, et validé dans plusieurs industries.

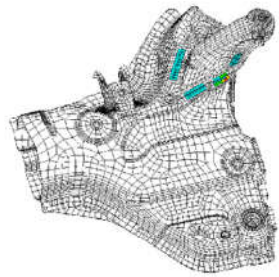


Figure 5 : Comportement à la fatigue

IV. INTERFACE DE MXDV_WELD

L'outil proposé pour la modélisation du soudage à l'arc est une interface homme-machine à partir de laquelle l'utilisateur ajuste les paramètres de soudage et lance les différentes étapes décrites ci-dessus. La même interface permet de visualiser les différentes sorties en termes de source de chaleur, champ de température, état résiduel, etc.

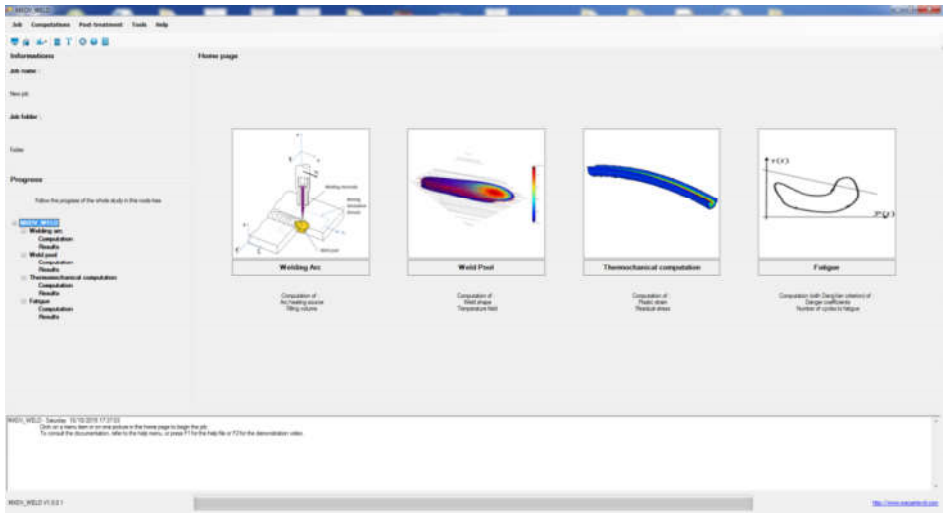


Figure 6 : Ecran d'accueil de MXDV_WELD

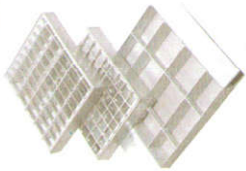
CEM

Construction et Emboutissage Métalliques

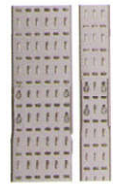
Batiments industriels et agricoles en charpente métallique

Auvents métalliques et marquises

Panneaux et marches en caillebotis



Chemins de câbles et accessoires



Installations de tuyauteries et d'équipements pétroliers et industriels

Notre finalité ... c'est la qualité

Notre objectif ... satisfaire les attentes de notre clientèle

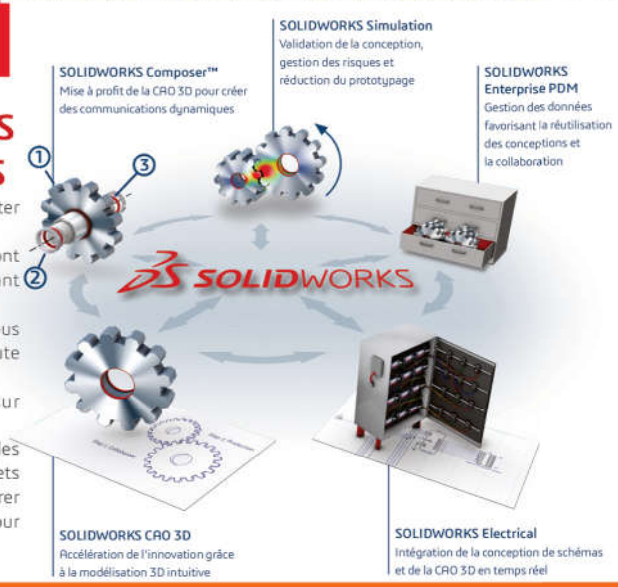
Adresse: 14, Rue Utique 3003 sfax - Tunisie - Tél.: +216 74 40 82 11 - Fax: +216 74 40 80 88
Site Web: www.cem.com.tn - E-mail: cem@gnet.tn

CAT YOUR PARTNER SOLUTIONS

SOLIDWORKS

SOLIDWORKS : DES SOLUTIONS QUI TRAVAILLENT POUR VOUS

Les solutions SOLIDWORKS sont spécialement conçues pour faciliter votre travail quotidien.
Déploiement rapide, simplicité d'utilisation et facilité de gestion sont autant d'atouts qui vous aident à gagner en efficacité tout en contribuant à maintenir des coûts bas.
Les solutions SOLIDWORKS sont évolutives. Vous choisissez ce dont vous avez besoin maintenant et vous complétez les fonctionnalités en toute simplicité sans avoir à
interrompre votre activité de conception, pour un retour sur investissement rapide.
Grâce à ce gain d'efficacité, vous pouvez vous concentrer sur les nouvelles opportunités et redéployer votre équipe sur des projets stratégiques et de pointe. Résultat : vous avez plus de temps à consacrer à l'innovation et vous êtes mieux à même d'évaluer les risques pour prendre de meilleures décisions.



TSD THE STEEL DETAILER

quadrodesign

CERTIFIED Solution Partner

SOLIDWORKS

QU'EST-CE QUE TSD?

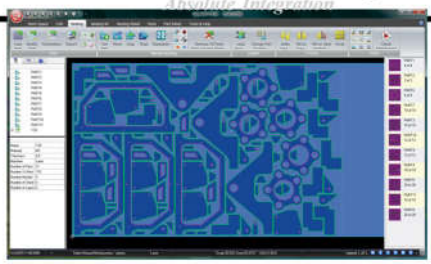
The Steel Detailer (TSD) partenaire avec SolidWorks ® automatise la création de modèles structurels et dessins détaillés de fabrication. Charpentes et constructions métalliques, citernes, escaliers,... etc)

Fonctions Principales:

- Modélisation
- Mise en plan
- Rapports
- Import et Export

SIGMANEST SOFTWARE

SolidNEST® Absolute Integration



SIGMANEST

La solution FAO tôlerie pour les machines de découpe (laser, plasma, oxycoupage, jet d'eau et contournage, les poinçonneuses et les combinés.)

CAT COMPUTER AIDED TECHNOLOGIES

SOLIDWORKS Revendeur Agréé

Computer Aided Technologies - CAT
Route Menzel Chaker Km 1 Résidence Essaâda N°43 3003 Sfax – Tunisie
Tél. : +216 74 451 326 Fax : +216 74 460 768
Email : info@cat-tn.com http://www.cat-tn.com

- Nom et Prénom : HADDED Cheker
- Fonction : Gérant
- Etablissement : Société GENERAL INDUSTRY
- Grade : Ingénieur en Mécatronique
- Expérience : Responsable de département recherche et développement au sien de GENERAL INDUSTRY

Découpage plasma à commande numérique

Résumé : *Apparenté au soudage TIG (un arc électrique jaillit entre une électrode réfractaire et la pièce) par l'aspect de la torche, le découpage plasma diffère par les mélanges gazeux utilisés. Le jet de plasma est généré par l'arc électrique qui s'établit entre une électrode intérieure à la torche de coupage et la pièce. Le mélange gazeux ionisé à la sortie de la tuyère forme le plasma. Le pouvoir calorifique du jet (température d'environ 18 000 °C) provoque une fusion quasi instantanée qui se propage dans toute l'épaisseur de la pièce.*

Mots-clés : *Plasma ; CNC ; Thermal Dynamics*

I. Introduction

La découpe plasma a parcouru un long chemin depuis qu'il a été développé dans les années 1950 par les ingénieurs de la firme UNION CARBIDE CORP. Aujourd'hui, il est l'un des procédés de découpe de plaque métallique les plus utilisés pour une grande variété d'industries.

Dans les années 1970 la technologie de découpe au plasma a remplacé de nombreuses applications de découpe de l'acier sur la base oxycoupage de 0,25 à 1 pouce d'épaisseur, tout en conservant sa place sur les marchés des aciers inoxydable et de l'aluminium.

Thermal Dynamics a été la première entreprise à avoir introduit le découpage plasma dans l'industrie et qui a été en opération depuis plus de cinquante ans dans ce domaine en établissant les normes du découpage plasma. Son histoire remonte à Dartmouth Collège où les professeurs James Browning et Merle Thorpe de l'École THAYER de génie incorporés Thermal Dynamics en 1957. Thermal Dynamics est un leader mondial qui établit la norme en termes de flexibilité, de valeur et de performance des équipements de coupe de haute précision avancé. Ces systèmes manuels, les systèmes automatisés, torches, torches manuelles et automatisées et séries complètes d'accessoires couvrent la gamme complète des applications de découpe au plasma.

Aujourd'hui, les systèmes plasma, produits innovants et de performance éprouvée par Thermal Dynamics, sont parmi les meilleurs choix pour les applications de coupes manuelles ou automatisés à travers le monde.

II. Phenomene plasma

A. Principe :

Le PLASMA est un procédé de découpe par fusion localisée dans lequel le jet de gaz ou d'air comprimé chasse le métal porté à une température de fusion. La température générée par l'arc électrique est voisine de 18000°C. Le terme PLASMA est utilisé lorsque la matière gazeuse n'est plus composée d'atomes et de molécules, mais d'ions et d'électrons. Ces derniers apparaissent lors de la scission des molécules et des atomes. Cet état est atteint lorsque

plusieurs conditions sont réunies (gaz, pression, température élevée). On nomme PLASMA, le quatrième état de matière.

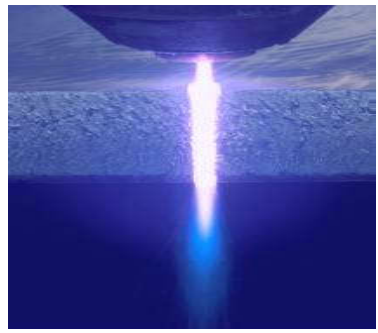


Figure 1 : Arc PLASMA

B. Fonctionnement du PLASMA :

- Création d'un arc électrique :

Entre une électrode en tungstène ou en zirconium et la pièce à couper, un arc électrique est créé. L'arc est très localisé.

- Ouverture du gaz ou du mélange plasmagène :

Grâce à une convection forcée au travers d'un orifice de faible diamètre, l'arc et le gaz sont dirigés sur une zone très précise. Le gaz devenu PLASMA dont le débit est suffisant, permet de chasser le métal en fusion.

- Découpe :

Après l'amorçage et le début de la coupe, il suffira de garder une hauteur constante, manuellement ou automatiquement sur certaines installations (machines de découpes) et de se déplacer pour effectuer la découpe voulue.

C. Différentes torches pour la découpe PLASMA :

- Torche avec électrode tungstène et écoulement laminaire (Figure 2)
- Torche avec électrode en Zirconium ou Hafnium et écoulement en Vortex (Figure 3)

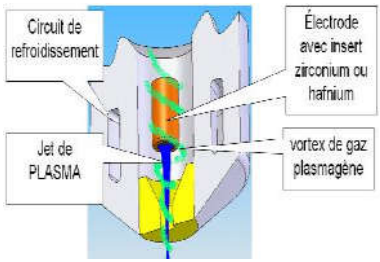


Figure 2 : Torche avec électrode tungstène

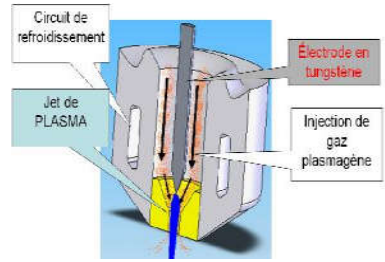


Figure 3 : Torche avec électrode en Zirconium ou Hafnium

III. Decoupage plasma a commande numerique

A. Machine de découpe plasma :

Les machines de découpe plasma (Figure 4) à commande numérique sont formée d'un portique mobile sur lequel est monté un chariot portant la torche de découpe plasma. Une commande numérique qui permet la génération et la gestion des mouvements des différents axes ainsi que la gestion des entrées/ sorties et de l'éventuelle communication avec le générateur plasma. Lors de la découpe, la distance de la torche par rapport au métal est cruciale et cette distance est maintenu constance grâce à un dispositif de contrôle de la hauteur appelé THC (Torch Height Control).

Figure 4 *:* Machine de découpe plasma à CN

- La commande numérique : Les systèmes de commande numérique, alliés à une expertise en matière de coupe intégrée, fournissent une performance constante, avec un logiciel simple d'utilisation qui permet à l'opérateur d'optimiser chaque coupe. Les CNC utilisent des logiciels pour un fonctionnement sans accroc et sont configurables pour prendre en charge les besoins particuliers des clients.
- Le THC : Torch Height control : Le contrôle de la hauteur de la torche (THC) est l'un des éléments les plus importants de la machine PLASMA. Il existe une variété de contrôles de la hauteur de la torche sur le marché. Chacun de ces THC a une variété de fonctions et de fonctionnalités. Mais tous utilisent les mêmes éléments de base pour contrôler la position de la torche par rapport au matériau à couper.
- Générateur plasma : Il existe trois catégories de générateur plasma. La première est celle des générateurs Air/Air, ces générateurs utilisent de l'air comprimé pour le gaz plasmagène et aussi comme gaz d'assistance. Pour ces générateurs les parties de la torche de découpe sont refroidie par air. La deuxième catégorie est celle du plasma multi gaz. Ce sont des générateurs qui peuvent utiliser plusieurs types de gaz plasmagène comme l'oxygène, l'air ou bien l'azote et cela dépond du matériau à découper. Les composants de la torche sont refroidie par eau ce qui donne une plus grande durée de vie des consommables. La dernière catégorie des générateurs plasma sont les générateurs Haute Définition (Figure 5) caractérisés par une qualité de coupe supérieure, générateur multi gaz, refroidissement par eau des consommables, une durée de vie qui peut atteindre jusqu'à 4000 amorces.

Figure 5 : Générateur Haute Définition

B. Les avantages :

- Le découpage plasma à commande numérique permet de découper des tôles de 0.5 mm jusqu'à 150 mm d'épaisseur en tous types de matériaux y compris les tôles rechargées, les aciers inoxydables et les aluminiums et alliages.
- La zone affectée thermique est faible.
- Un faible coût

IV. CONCLUSION

Le premier procédé de coupage plasma est apparu en 1957 et sur le marché de la découpe, les plasmas représentaient environ 22 % du marché mondial en 2003.

Le marché couvre essentiellement :

- L'automobile, la construction (ponts, tunnels, tuyaux, métaux de structure) ;
- La fabrication « lourde » (constructions, mines, équipement pour l'agriculture, navires).

Cela implique donc de nombreuses applications plasma qui par définition doivent être peu chères dans la majorité des cas. La vitalité du marché est bien caractérisée par l'évolution exponentielle depuis les années 1970 du nombre de brevets déposés aux USA sur le découpage plasma.

D'une manière générale, le terme qui caractérise le découpage plasma par rapport à ses concurrents est le rapport qualité/prix.

SAMFI

Société Article Métallique et Fourniture Industrielle

Quincaillerie Electroportatifs Matériel de Sécurité Poste de soudure et consommable de soudage

Miller

PARTENAIRES :

HITACHI Inspire the Next · Climax · MATRIX · VIP-TEC · trofimet · YILDIZ GAZ ARMATÜRLERİ · GEDIK WELDING

Route de Sousse Km 14-2050 Hammam Lif -Tunisie

(+216) 79 218 170 | **Fax :** (+216) 71 294 983

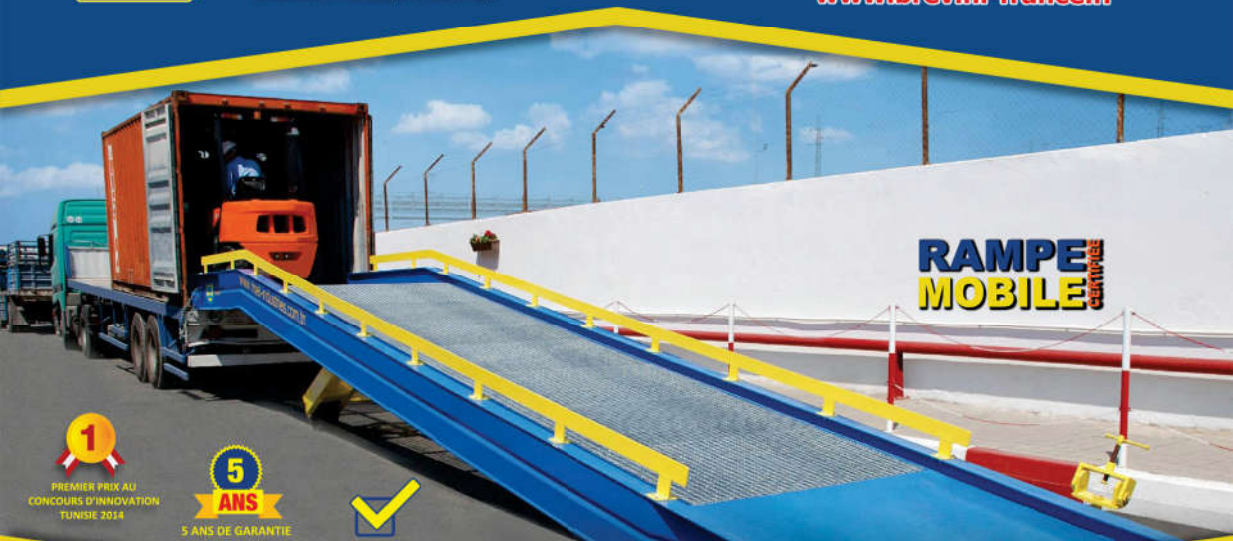
Site Web : www.samfi.tn | **E-mail :** Commercial@samfi.tn

RISEL

صناعات ريزال
البناء الميكانيكي والمعدني

RISEL INDUSTRIES
Construction Métallique & Mécanique

brevini power transmission
Représentation exclusive en TUNISIE et en LIBYE
www.brevini-france.fr



/RISEL-INDUSTRIES @RISEL_INDUSTRIE

www.risel-industries.com.tn
contact@risel-industries.tn
(+216) 74 454 450
(+216) 74 454 290
Route de Gabés KM6 BP 178 Cité EL Habib 3052 Sfax-Tunisie

Dr El-Hachemi AMARA est chercheur permanent avec un grade de Directeur de recherche, au Centre de Développement des Technologies Avancées d'Alger, dans la Division Milieux Ionisés et Laser. Il est Diplômé de l'Université de Sciences et Technologies Houari Boumedienne d'Alger avec un Diplôme d'Etudes Supérieures en Physique du Solide, un Magister en Electronique Quantique, un Doctorat en Physique des Plasmas et une Habilitation Universitaire. Il s'intéresse aux applications des lasers de puissance et des lasers à pulsations ultrarapides. Il est auteurs de plus d'une centaine d'articles dans des revues scientifiques et d'actes de conférences de réputation avérée.

Effet de la vitesse de découpe et de la longueur d'onde lors d'une découpe par laser

Résumé : *On développe une modélisation numérique de la découpe des métaux par laser en s'appuyant sur des paramètres opératoires issus d'expériences pour voir l'influence de ces paramètres sur la qualité de découpe. Les résultats de notre modélisation basés sur la résolution des équations gouvernantes par la méthode des volumes finis, montrent que la qualité de découpe est liée à la vitesse du procédé, à la longueur d'onde du laser utilisé, à la tension de surface et au profil spatial du faisceau laser, et d'autres paramètres liés au matériau et au gaz d'assistance.*

Mots-clés : *Laser ; découpe ; métal ; stries*

I. Introduction

A cause de leur rapidité, répétabilité, et fiabilité, les lasers constituent l'outil idéal pour découper une grande variété de matériau. La découpe par laser est le procédé le plus utilisé dans l'industrie où il représente 70% de l'activité des procédés par laser. Dahorte et Harikmar [1] ont décrit trois techniques principales pour la découpe de matériau par laser : la découpe avec évaporation, la découpe par fusion et la découpe réactive par fusion. En fonction des conditions opératoires et de l'efficacité recherchée la technique optimale est choisie. Les approches qui devraient être adoptées pour traiter les matériaux à basse et haute conductivité, tels que les tissus et les métaux sont présentées par Ready [2], où la vaporisation directe par apport de l'énergie laser avec gaz non réactif est préconisée pour les tissus, alors que pour les métaux, comme le titane, des réactions exothermiques avec gaz réactif (oxygène) doivent être considérées. Cependant, pour l'acier inoxydable, un jet de gaz non réactif peut être utilisé pour évacuer le matériau fondu. Le faisceau laser est utilisé en découpe par fusion soit en faisant fondre la surface du matériau ou en faisant fondre et vaporiser le matériau fondu. Ce qui permet d'obtenir des largeurs de découpe étroite, sur des profondeurs relativement importantes. Comme montré sur la figure (1), le film fondu est expulsé de la région du front de découpe en dirigeant un jet de gaz d'assistance issu d'une buse coaxial à une pression donnée. La saignée de découpe (appelée kerf en anglais) est obtenue soit par déplacement de la source laser le long de la surface du matériau traité, soit par déplacement de la pièce traitée sous le faisceau laser pendant que le dispositif de découpe délivrant le faisceau laser et le jet de gaz reste fixe.

Pour mener une étude par modélisation de la découpe par laser, plusieurs mécanismes physiques doivent être pris en compte. Parmi les mécanismes qui ont un effet sur le résultat de la découpe durant la formation de la saignée :

- Pour le matériau : effet de la tension de surface.

- Pour le faisceau laser : effet de la vitesse de découpe, effet de la polarisation, effet de la longueur d'onde, effet du diamètre de la tâche du faisceau, effet de la dé-focalisation.
- Pour le jet de gaz : effet de la stand-off distance (sortie de buse-surface métal), effet d'un jet de gaz réactif (O_2), effet de la vitesse du jet (turbulence, chocs,…)

Dans le cadre de cette présentation on s'intéresse aux effets de la vitesse de découpe, et de la longueur d'onde du faisceau, lors du traitement par laser de l'acier inoxydable.

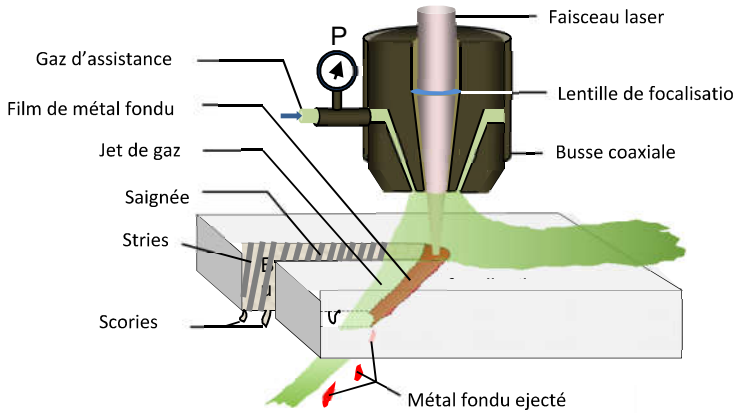


Figure 1 : Principe de la découpe par laser

II. MODELISATION

On considère que les mécanismes physiques impliqués pour le traitement du problème de découpe par laser sont : l'absorption de l'énergie laser, la fusion et la vaporisation de la matière, la dynamique induite par le jet de gaz, la re-solidification.

Le traitement du problème se fait par résolution numérique des équations hydrodynamiques gouvernantes, en utilisant la méthode des volumes finis mise en œuvre par le code ANSYS/FLUENT CFD, et en y insérant des procédures de calcul interactives (UDFs) écrites en langage C++, qui servent à définir les spécificités du problème de découpe par laser. Comme nous sommes en présence d'un problème multiphasique de par la présence de l'air environnant et du matériau métallique dans son état solide et liquide (quand il est en fusion), on utilise la méthode Volume Of Fluid (VOF) pour le suivi des interfaces liquide/gaz/solide. La méthode enthalpique est quant à elle utilisée pour prendre en compte la fusion and re-solidification du matériau.

Le mouvement de la pièce traitée sous le faisceau laser est simulé en considérant un repère non-inertiel ou en mouvement [3]. On représente sur la figure (2) le maillage du domaine de calcul, où sont représentées les régions correspondant à l'air et au matériau métallique. Le domaine de calcul correspondant au maillage 3D est constitué de 19800 cellules hexaédriques, et de 61650 faces quadrilatères. Pour nos simulations, on considère un faisceau laser Nd-YAG (l=1.06 µm), avec profil spatial tophat, une puissance du faisceau laser de 8 kW, un diamètre du faisceau de 1.7 mm, une épaisseur de l'échantillon 3mm, un mécanisme d'absorption Fresnel de l'énergie laser, un gaz d'assistance inerte (Azote) avec une vitesse de jet de 110m/s, des conditions atmosphériques normales (T= 300 K, P=101325 Pa), et enfin une découpe par fusion (pas de plasma).

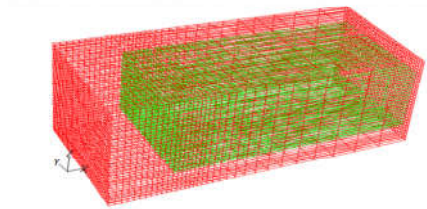


Figure 2 : Maillage du domaine de calcul

III. Resultats

Les résultats de la modélisation 3D de la découpe par laser où nous avons simulé la formation de la saignée de découpe montre que la vitesse de découpe est un paramètre important et déterminant pour la qualité de découpe par laser.

On montre sur la figure (3) les résultats de la simulation pour des vitesses de découpe de 1m/min et 4 m/min respectivement.

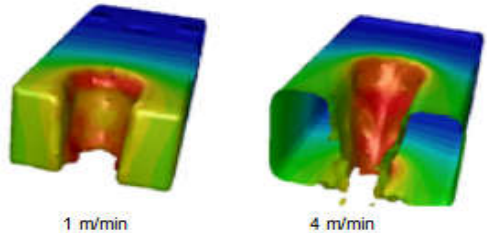


Figure 3 : Saignée de découpe pour des vitesses de 1m/min et 4 m/min

On note que la distance parcourue par la pièce sous le faisceau laser est plus importante pour une vitesse de 4 m/min, et l'on observe que la pièce arrive aux limites du champ de calcul d'où la paroi en transparence qui apparait. Par ailleurs, on observe calairement que pour des vitesses faibles de découpe, le front avant est quasi vertical, alors qu'à vitesse plus élévée le front est incliné. Par ailleurs, on remarque la formation d'une accumulation de métal en fusion aux faibles vitesses, alors que cela n'est pas le cas à une vitesse plus élevée. Cette accumulation de métal en fusion confimrmée par les expériences [4] est à l'origine de la formation de stries qui constituent le défaut majeur de la découpe par laser.

La découpe de pièces épaisses (> 4mm) nécessite des vitesses de découpe relativement faible, de l'ordre de 1 m/min. Comme démontré, la découpe à faible vitesse induit des fronts de découpe raides, où l'accumulation de métal fondu menant à la génération de humps qui en se déplaçant sur les parois latérales de la saignée vers la sortie, provoque la fusion du matériau solide et le creusement de la paroi pour y laisser des stries après solidification. Il a été démontré expérimentalement que les stries sont plus ou moins importantes en fonction de la longueur d'onde utilisée.

Si l'on considère les deux lasers les plus utilisés en traitement des matériaux, en l'occurrence le laser CO2 et le laser Nd-YAG, qui ont respectivement une longueur d'onde de 10.6 µm et 1.06 µm, on s'accorde à affirmer que le laser CO2 est plus recommendé pour la découpe d'épaisseurs relativement importante. Cette propriété est due à l'absorptivité du matériau lorsque l'angle d'inclinaison de la paroi par rapport au faisceau laser est important. En effet en démarrant des coefficients de Fresnel pour calculer la réflectivité R en fonction

de la longueur d'onde, on s'aperçoit que jusqu'à un angle d'inclinaison inférieur à 85.9°, l'absorptivité (A=1-R) du Nd-YAG est plus importante que celle du CO2. Pour des angles supérieures, correspondant à des front de découpe raides, on note que l'absorptivité du Nd-YAG chute brutalement, alors que celle du CO2 augmente rapidement, comme montré sur la figure (4).

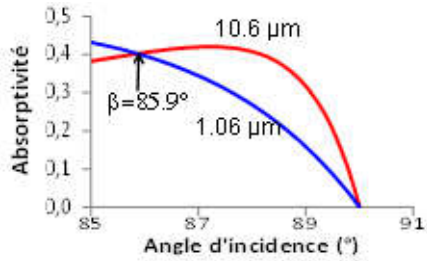


Figure 4 : Absorptivité en fonction de l'angle d'incidence

La simulation de l'effet de la longueur d'onde que l'on montre sur la figure (5) montre bien l'apparition de stries dans le cas d'un laser Nd-YAG par rapport au laser CO2.

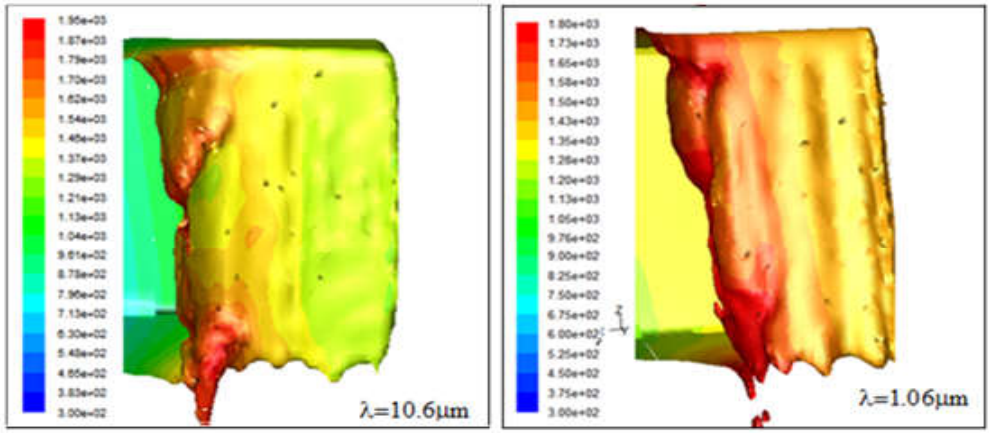


Figure 5 : Comparaison des résultats de découpe CO2 vs Nd-YAG

IV. Conclusion

La modélisation développée a permis de mettre en évidence en accord avec les études expérimentales, les effets de la vitesse de découpe et de la longueur d'onde du laser utilisé. Ces paramètres liés au faisceau laser sont déterminant pour la qualité de découpe.

References bibliographiques

[1]. N.B. Dahotre, S.P. Harimkar, Laser Fabrication and Machining of Materials, Springer, 2008.
[2]. J.F. Ready, Industrial Applications of Lasers, Academic Press, 1997
[3]. E.H. Amara, K. Kheloufi, T. Tamsaout, R. Fabbro, K. Hirano, Applied Physics A: Materials Science & Processing, 2015, A119, 4, 1245.
[4]. K. Hirano, R.Fabbro, Journal of Physics : Applied Physics, 2011, 44, 105502.

ALHAMID INDUSTRIE
الحميد للصناعة

ALHAMID INDUSTRIE, société à vocation Industrielle agissant dans le secteur de la construction métallique principalement dans les compétences suivantes :

- Equipements métalliques d'étayage et d'échafaudage pour les bâtiments,
- Constructions en charpentes métalliques,
- Installations industrielles et pétrolières,
- Bases de vie sahariennes.

ALHAMID INDUSTRIE a misé sur le développement de ses ressources matérielles et humaines agissant en synergie, soucieuse afin de satisfaire les besoins et les attentes de sa clientèle.

Notre finalité : **LA SÉCURITÉ, LA QUALITÉ ET L'EFFICIENCE.**

ISO 9001
CERTIFICATION
BUREAU VERITAS

Rue Jamel Eddine Al Afghani Z.I, Poudrière 1, 3002 Sfax-Tunisie
: 00216 74 28 60 71 : 00216 74 28 60 72 GSM: 00216 25 91 40 98
: contact@alhamidindustrie.tn www.alhamidindustrie.tn

OLYMPUS®

Your Vision, Our Future

Vibratech

Des Solutions de Contrôle Industriel

OmniScan Solutions

The Easiest and Fastest Way to Get the Job Done

OmniScan flaw detectors offer intuitive interface, high performance, and exceptional features making them the most trusted portable phased array instruments on the market. Olympus has devoted considerable effort toward innovating and deploying a wide range of complete market solutions aimed at meeting customers' needs.

Pressure Vessel and Pipe Weld Inspection.

Weld Inspection of Small-Diameter Pipes

Corrosion Mapping Inspection

CFRP Composite Inspection

NEW

Dual Linear Array Probe

The new Dual Linear Array™ probe for corrosion inspection from Olympus provides you with many advantages over conventional ultrasonic dual element transducers.

This phased array solution improves productivity through features such as larger beam coverage, faster scan speed, and C-scan imaging with increased data-point density.

www.olympus-ims.com

- Sofiene HAKIMI
- Ingénieur spécialiste des CND et vibrations de la société Vibratech
- Membre de l'Association Tunisienne de Soudage
- Formateur de la division NDT d'Olympus Industrial

Recherche des défauts de soudures par les méthodes TOFD et Phased Array

Résumé : *Les méthodes des Phased Array et du TOFD sont de plus en plus utilisées pour les contrôles des cordons de soudure. Combinées ensembles, elles permettre de localiser, qualifier et dimensionner tout type de défaut dans le cordon de soudure et dans la zone affectée thermiquement. Cet article se veut une présentation générale de ces deux techniques afin de les introduire au public concerné.*

Mots-clés : *Phased Array ; TOFD ; Défauts de soudure*

I. Introduction

Jusqu'à maintenant, la radiographie est assez utilisée pour le contrôle des cordons de soudure. Toutefois cette technique présente les inconvénients suivants :

- Limitation des épaisseurs : Au-delà de 20 mm d'épaisseur, le contrôle par radiographie devient difficile, ce qui pousse les inspecteurs à utiliser des sources très puissantes, pas toujours faciles à manipuler sur des chantiers, compte tenu du niveau de radiation qu'elles génèrent.
- Contraintes de sécurité : lors du contrôle par radiographie, la zone de travail doit être balisée et interdite aux personnes lors des séances de « tir ». Le rayon interdit aux personnes varie selon la puissance de la source de quelques dizaines à quelques centaines de mètres. Cela suppose l'arrêt de travail de construction dans cette zone.
- Délais d'obtention des résultats : compte tenu des temps de tirage et de développement des films radiographiques, souvent dans un laboratoire approprié, les résultats du contrôle ne sont disponibles qu'après 24 voir 48 heures. Ce délai est précieux quand il s'agit de soudures automatiques où un défaut du à un mauvais paramétrage du système utilisé, est répété jusqu'à un nouveau paramétrage approprié.
- Vision mono plan : Le rendu radio, bien qu'il donne la dimension d'un défaut dans le plan perpendiculaire au rayons d'inspection, ne fournit aucune information sur sa dimension dans le plan perpendiculaire ni sur sa position en profondeur.
- Les fines fissures parallèles à la direction du tir sont quasi invisibles sur le film radiographique.

Les ultrasons, dont la part d'utilisation dans le contrôle des défauts de soudure augmente d'année en année, présente une solution aux problèmes cités ci-dessus. Les techniques ultrasoniques multi-éléments et TOFD utilisées ensemble donne une réponse à la demande d'un contrôle à 100% du cordon de soudure avec la qualification, le dimensionnement et le positionnement dans l'espace des défauts. L'application de la technique, est sans contraintes liées à la sécurité des personnes et le résultat est instantané. L'épaisseur à contrôler, par la nature des ultrasons, peut atteindre des centaines de millimètres, voir des mètres.

Les normes ASME et API, ont introduits plusieurs chapitres de remplacement de la radiographie par les ultrasons multi-éléments auxquels on peut se référer dans une procédure d'inspection.

II. LES PRINCIPAUX DEFAUTS RECHERCHES

La figure 1 montre les principaux défauts de soudure recherchés. Qui sont le manque de fusion, les porosités, le manque de pénétration, les inclusions et les fissures. L'inspection consiste à les localiser, les qualifier et les dimensionner.

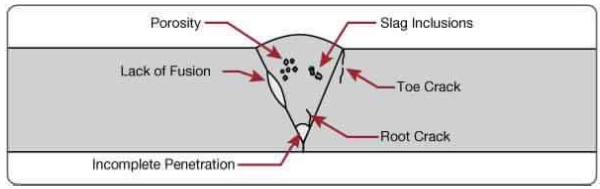


Figure 1 : Les principaux défauts de soudure

III. LES MULTI-ELEMENTS

La technique des ultrasons conventionnelle consiste en l'émission d'une onde acoustique par un traducteur dans la matière à contrôler. A la rencontre d'une discontinuité, une partie de l'onde est réfléchie vers la source d'émission (figure 2). Le rendu obtenu, dit A-Scan, présente un écho d'une certaine amplitude A à une distance de l'émission, qui elle se trouve au niveau de la surface inspectée (figure 3). Connaissant la vitesse de propagation de l'onde ultra-sonore dans la matière à inspecter et l'angle de réfraction ainsi que l'épaisseur de la pièce, un calcul géométrique nous informe sur la position du défaut. La comparaison de l'amplitude A de l'écho réfléchi, par rapport à un défaut de référence nous informe sur la taille du défaut.

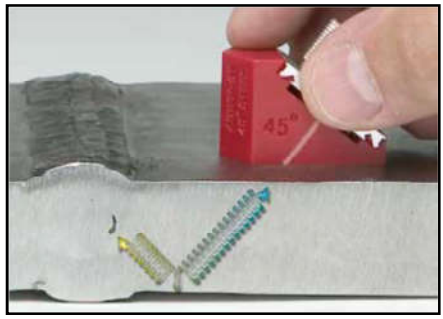


Figure 2 : Inspection avec un angle de réfraction de 45°

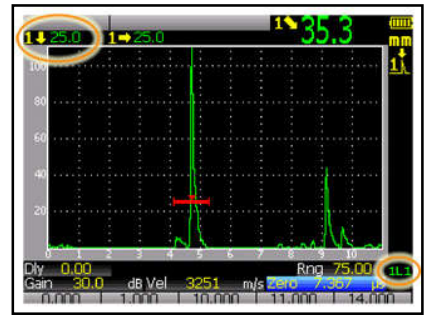


Figure 3 : A-Scan montrant l'écho du défaut rencontré

Les multi-éléments :

L'inspection multi-éléments ou « Phased Array » est la mise en place d'un réseau de traducteurs ou éléments (16, 32, 64, 128, 256 ou 512) dans le même boitier (figure 4). En jouant sur le déphasage électronique, l'onde résultante émise par l'ensemble de ces éléments est focalisée, diffuse ou émise suivant un angle par rapport à la surface d'émission (figure-5).

Figure 4 : Mise en réseau des éléments

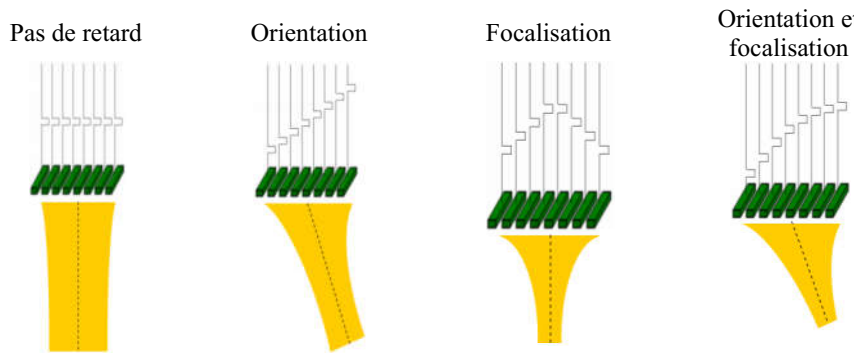


Figure 5 : Les différents modes d'excitation définissent la nature du faisceau acoustique

Les réflexions de chaque loi focale (faisceau singulier) sont additionnées dans une présentation S-Scan, qui donne une image sectorielle facilement interprétable (figure 6).

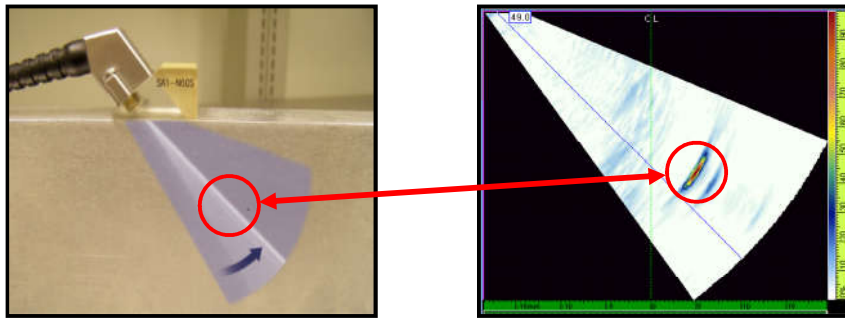


Figure 6 : Présentation S-Scan

IV. La technique du TOFD

TOFD ou « Time Of Flight Diffraction » dont la traduction en français est le temps de vol de l'onde de diffraction, est une technique d'inspection par ultrasons complémentaire aux multi-élements. La technique du TOFD est comme la radiographie, utilisée pour l'identification et le dimensionnement des défauts, dans un plan.

Principe théorique du TOFD

Un émetteur envoi un faisceau large d'ultrasons qui va heurter une discontinuité dans la matière. Les bords (pointes) de la discontinuité vont émettre des ondes de diffraction sphériques.

On peut montrer, par la théorie d'inversion de phase dans le passage des ultrasons d'un milieu à un autre, que l'onde de diffraction provenant de la pointe supérieure commence par une demi alternance négative, alors que celle provenant de la pointe inférieure, commence par une demi alternance positive (figure 7).

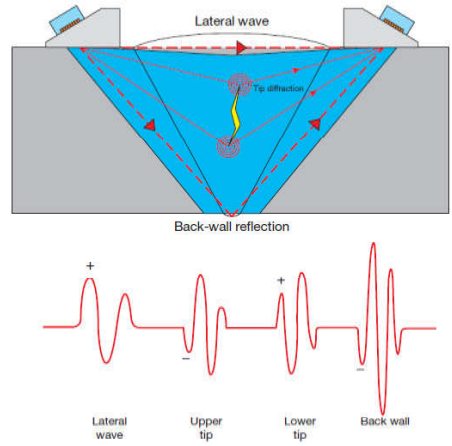


Figure 7 : Onde de diffraction

Dans la représentation graphique, la partie négative de l'onde est représentée par une couleur noire et la partie positive est représentée par une couleur blanche. Ce codage couleur, permet de donner une image visuelle qui donne les limites des défauts relevés (figure 8).

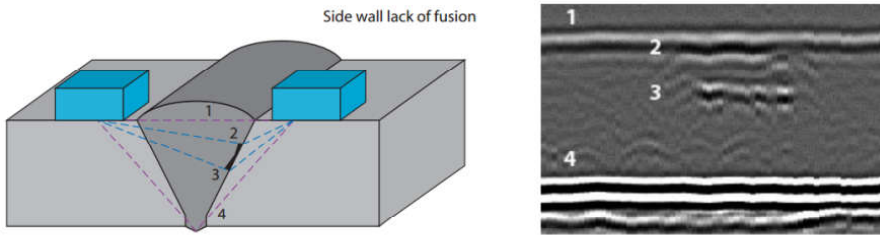


Figure 8 : Image Tofd d'un défaut

V. LA COMPLEMENTARITE PAHSED ARRAY TOFD

L'utilisation simultanée des deux techniques pour l'inspection des soudures fait bénéficier le contrôleur des avantages suivants :

- Une couverture totale du cordon de soudure et de la zone affectée thermiquement.
- Une représentation des défauts sous forme d'images plus faciles à interpréter
- Une qualification et un dimensionnement dans le plan du défaut, grâce à l'image obtenue par le TOFD
- Une localisation dans l'espace, du défaut ainsi qu'une évaluation de sa criticité par les méthodes comparatives grâce à la méthode des Phased Array.
- Un résultat en temps réel de l'opération de contrôle.

Sur le plan opératoire un jeu ou plus de deux sondes TOFD avec une sonde ou plus de Ahased Array, sont montés sur un chariot (scanner) muni d'un encodeur. Les signaux sont générés et collectés par un appareil de type OMNISCAN qui affiche en temps réel les images TOFD et Phased Array du cordon de soudure avec les éventuels défauts qui peuvent exister (figures 9 et 10).

Figure 9 : Inspection TOFD et Phased Array

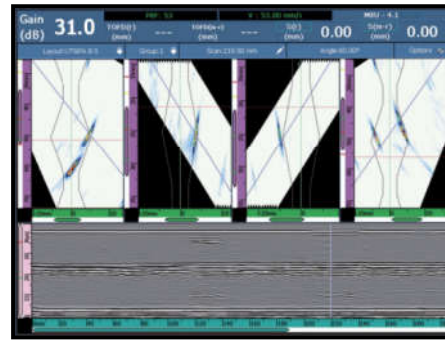


Figure 10 : Représentation TOFD et Phased Array d'un défaut de soudure.

- **Adresse:** Zone industrielle Sakiet Eddaier 3054 - SFAX –TUNISIE
- **Tel:** (+216) 74 83 05 26 **Fax:** (+216) 74 83 08 11
- **Email:** eba.abderaouf@tunet.tn **Site-Web:** www.eba-laser.com

EBA
CONSTRUCTION METALLIQUE

- **EBA : Etablissement privé dans le domaine de la construction métallique crée le 01 juillet 1993**

EBA offre une gamme importante de services : Structure métallique, chaudronnerie et équipement industriels et agricoles avec une haute qualité de précision en cisaillage, roulage et en :

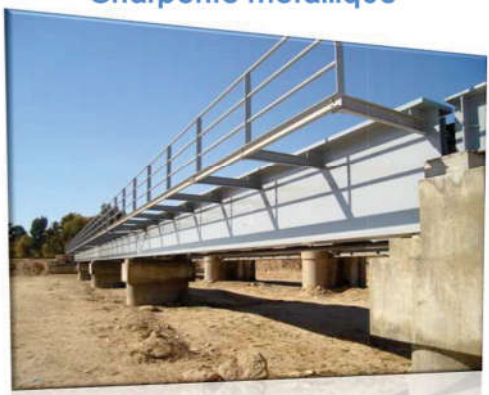
Découpage laser

Découpage plasma

Pliage

Nos Références

Charpente métallique



Ouvrage métallique pour la SNCFT Gafsa Aguilla

Equipements industriels

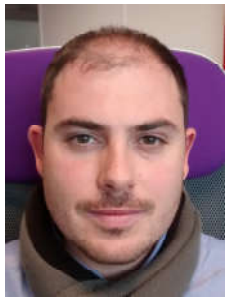
Alimentateur vibrante

Presse à balle de carton

Robotique de soudage-coupage

Améliorer votre productivité avec les solutions robotiques d'Air Liquide Welding.

www.airliquidewelding.com



- BENTI Sébastien
- Export Manager
- Ingénieur de formation
- Air Liquide Welding France

Procédé de soudage plasma

Résumé : *Le procédé de soudage plasma offre de gros avantages dans la préparation mécanique des bords, puisqu'il permet de souder en key-hole des épaisseurs de 8 à 10 mm bord à bord sans préparation (en une ou deux passes).*

Il permet également de souder dans différentes positions de soudage en fonction du type de pièces à réaliser (à plat, en corniche, en vertical).

Mots-clés : *Plasma ; key-hole ; position.*

I. Principe du procede

L'apport d'énergie nécessaire au soudage est assuré par un arc électrique jaillissant sous une atmosphère de gaz neutre entre une électrode réfractaire et les pièces à assembler.

Cet arc est confiné mécaniquement et cinétiquement par l'intermédiaire d'une tuyère au travers de laquelle on l'oblige à passer.

L'éventuel apport de fil se fait à l'extérieur de la torche.

Un premier gaz, dit plasmagène, combiné avec l'arc électrique forment le plasma qui passe au travers de la tuyère. Il en résulte une forte densité de courant et une température très élevée (de 15 000 à 20 000 °C) au centre de la veine plasma.

Un deuxième gaz, dit annulaire s'écoule entre la tuyère et la buse, il assure la protection du métal fondu. En fonction des matériaux à souder ce gaz pourra être de plusieurs types.

Les deux flux de gaz concentriques à l'électrode lui assurent une très bonne protection, réduisant ainsi son érosion.

Les paramètres principaux concernant la puissance calorifique de l'arc plasma sont :

- la nature et le débit du gaz plasmagène,
- l'intensité de courant,
- la tension d'arc.

Il existe deux types de soudage en plasma :

A. Le soudage en plasma key-hole :

La fusion des bords s'effectue en formant dans le plan de joint un trou de forme conique par lequel s'échappe le jet plasma à l'envers du joint ; ce trou subsiste durant toute l'opération avec solidification du bain à l'arrière de la torche. En fin de cordon, nous refermons le trou avec un dispositif d'évanouissement d'arc en essayant de ne pas laisser de soufflure dans le cordon.

B. Le soudage en plasma déconfiné :

Fusion identique à celle du TIG, c'est-à-dire obtenue par effondrement du bain. Ce type d'arc peut être utilisé pour de fines épaisseurs (<3mm) ou pour le remplissage de chanfrein après avoir effectué la passe de pénétration en soudage key-hole.

Le générateur proposé par Air Liquide Welding nous offre deux possibilités que nous utiliserons en fonction du type de pièce, de la position de soudage et de l'épaisseur à souder.

C. Le courant continu lisse :

Polarité directe (- à l'électrode) pour le soudage des matériaux métalliques.

D. Le courant continu pulsé :

Polarité directe (- à l'électrode), l'énergie de soudage est maîtrisée en période haute et basse intensité. Le courant pulsé nous permet de contrôler plus précisément le bain de fusion dans des applications plus délicates telles que :

- Le soudage en corniche,
- Le soudage en vertical descendant,
- Le soudage des tubes de faible épaisseur et ou de faible diamètre.

II. MATERIAUX CONCERNES PAR LE SOUDAGE PLASMA

Les matériaux concernés par le soudage plasma sont :

- Les aciers non alliés,
- Les aciers faiblement alliés et les aciers inoxydables,
- Le nickel et ses alliages,
- Le titane,
- Le zirconium
- …

⇨ Cependant il n'est pas possible de souder l'aluminium, nécessitant le courant alternatif non utilisé avec ce type de procédé.

Ce procédé permet de souder à plat :

- Acier doux de 3 mm à 8 mm sans préparation des bords,
- Acier inoxydable de 2.5 mm à 12 mm sans préparation des bords (deux passes pour les épaisseurs les plus importantes en fonction de l'aspect final recherché),
- Titane, tantale, de 3 à 8 mm sans préparation des bords.

Nous pouvons également souder en corniche ou en Verticale :

- Acier inoxydable de 2 mm à 8 mm sans préparation,
- Acier doux de 3 mm à 6 mm sans préparation des bords

III. DOMAINES D'APPLICATION

Le soudage plasma est une extension du soudage TIG ; il apporte une plus grande productivité et une meilleure pénétration.

Il est surtout utilisé en automatique, et la mécanisation dépendra de la pièce à souder : raboutage de tôle dans un banc de placage, soudure circulaire de cuve à l'aide d'une potence et de vireurs…

Ce procédé est très utilisé en Chaudronnerie et tuyauterie (acier doux et acier inoxydable) ; il est également utilisé dans les industries de construction de matériels chimiques et alimentaires.

Comme tout procédé de soudage, il nécessite une préparation des pièces avant soudage :

- Eliminer les oxydes et les traces de graisse sur les pièces avant soudage,
- Respecter les exigences de préparation des bords,
- Assurer une protection envers sur certains métaux comme les aciers inoxydables par exemple.

IV. Exemple de preparation

Le soudage plasma en automatique, comme tous les autres procédés automatiques nécessitera une préparation des bords à souder la plus minutieuse possible, (voir figure 1).

Les différents problèmes de préparation rencontrés :

- Le désacostage
- Le jeu entre les pièces

En plasma la tolérance de préparation demandée est de 1/10ème de millimètre par millimètre d'épaisseur.

A. Incidence de la préparation :

Un écart de préparation important provoquera une variation d'aspect de la soudure ; (effondrement, caniveaux…).

B. Propreté des pièces :

Les pièces à assembler doivent être exemptes de tous corps gras, d'oxydation, de calamine et d'humidité.

Dans le cas contraire, nous pourrons avoir des défauts de compacité du joint soudé.

Blanchir les pièces à la meule et les nettoyer à l'acétone.

Ø extérieur tube en mm	Epaisseur paroi en mm	Nuance acier	Préparation du joint	Durée de soudage plasma hors mise en place des assemblages
60	2,9	carbone		2 min (2 passes enchaînées)
133	3,8	carbone		4 min (2 passes enchaînées)
406	9,52	carbone		14 min (2 passes enchaînées)
114	8	AISI 304		4,15 min (2 passes enchaînées)
170	3,2	AISI 304		2 min (1 passe)

Figure 1 : Exemple de préparation sur les tubes.

V. QUELQUES PARAMETRES

Le tableau 1 présente quelques paramètres (intensité, vitesse de soudage…).

Tableau 1 : Exemple de préparation sur les tubes.

Epaisseur	Intensité	Vitesse de soudage	Gaz plasma	Gaz annulaire
Soudage sur acier inoxydable				
→ *Position **Verticale descendante :***				
3 mm	150A – 60A	28 cm/min	Arcal 1 – 6 l/min	Arcal 15
8 mm*	260A – 120A	19 cm/min	Arcal 1 – 8 l/min	Arcal 15
→ *Position en **Corniche :***				
3 mm	170A – 80A	30 cm/min	Arcal 1 – 4,5 l/min	Arcal 15
8 mm	200A – 140A	28 cm/min	Arcal 1 – 5,8 l/min	Arcal 15
→ *Position à **Plat :***				
2 mm	142A	60 cm/min	Arcal 10 – 2 l/min	Arcal 15
8 mm*	240A	29 cm/min	Arcal 10 – 6,5 l/min	Arcal 15
→ *Sur **Tube à plat :***				
2,6 mm	132A	43 cm/min	Arcal 1 – 3,7 l/min	Arcal 15
6 mm	215A – 135A	26 cm/min	Arcal 1 – 6 l/min	Arcal 15
Soudage sur acier carbone				
→ *Position **Verticale descendante :***				
5 mm *	196A – 119A	23 cm/min	Arcal 1 – 4,5 l/min	Arcal 15
8 mm *	270A – 110A	19 cm/min	Arcal 15 – 8 l/min	Arcal 1
→ *Position en **Corniche :***				
4 mm *	180A – 100A	29 cm/min	Arcal 15 – 6 l/min	Arcal 15
6 mm *	200A – 100A	18 cm/min	Arcal 1 – 7,5 l/min	Arcal 15
→ *Position à **plat :***				
4 mm	186A	30 cm/min	Arcal 10 – 5,4 l/min	Arcal 1
10 mm *	260A – 190A	17 cm/min	Arcal 10 – 6 l/min	Arcal 15
→ *Sur tube à plat :*				
4,5 mm	205A – 160A	27 cm/min	Arcal 10 – 5,2 l/min	Arcal 15

* ***→Nécessite une 2ème passe.***

voestalpine Böhler Welding

böhler welding | utp maintenance | fontargen brazing

Application Know-how Joins Steel

Our international team of developers, application engineers and welders is focused on a single, clear mission: to insure the best welding results for our customers. And there is more good news! As the only producer with European production, we combine materials expertise with welding know-how like no other. Our metallurgical expertise goes into our products and we provide know-how to apply for the best possible use even in the roughest of conditions. All this makes us your number one partner for solutions in welding consumables. Our know-how joins steel – and welds people together.

voestalpine Böhler Welding
www.voestalpine.com/welding

voestalpine
ONE STEP AHEAD.

Institut Polytechnique Privé des Sciences Avancées
IPSAS

Université Privée du Sud
Polytechnique
DES SCIENCES AVANCÉES
SFAX

Génie Pétrolier

Génie en Sciences et Technologie des Aliments

Génie Automatique et Informatique Industrielle

Génie Informatique

Génie Electromécanique

Génie Energétique

Génie Electrotechnique et Electricité Industrielle

Génie Industriel

Génie Civil

Génie Electronique et Technologies Avancées

Et Bien d'autres…

Avenue 5 Aout Rue Said Aboubaker - 3002-Sfax-Tunisie

www.ipsas-ens.net

Tel.: +216 74 225 665 / 74 227 011 , Fax: +216 74 226 918 - Email: contact@ipsas-ens.net

Carnet d'adresses

ASSOCIATION TUNISIENNE DE SOUDAGE

Premier responsable : Elyes TRABELSI
Tél : +216 50 46 01 36 /+216 31 40 01 36
Fax : +216 32 40 01 36
E-mail : contact@ats-tn.net
Site Web : www.ats-tn.net
Adresse : Route Mahdia km 2.5, Elbosten, 3099, Sfax - TUNISIE

INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES TECHNOLOGIQUES DE SFAX

Premier responsable : Bassem JALLOULI
Tél : +216 74 43 14 25 / +216 74 43 15 13
Fax : +216 74 43 13 86
E-mail : isetsf@isetsf.rnu.tn
Site Web : www.isetsf.rnu.tn
Adresse : Route Mahdia km 2.5, BP 88A, Elbosten, 3099, Sfax - TUNISIE

CENTRE SECTORIEL DE FORMATION DE MENZEL BOURGUIBA

Premier responsable : Mohamed BELAID
Tél : +216 72 47 24 66
Fax : +216 72 47 07 88
E-mail : csfcm.menzelbourguiba@atfp.tn
Site Web : www.atfp.edunet.tn
Adresse : Rte de Tunis, Bir Tarchoun, Menzel Bourguiba, 7050, Bizerte - TUNISIE

ECOLE NATIONALE D'INGENIEURS DE SFAX

Premier responsable : Farhat REKHIS
Tél : +216 74 27 44 18
Fax : +216 74 27 55 95
E-mail : enis@enis.rnu.tn
Site Web : www.enis.rnu.tn
Adresse : Route Soukra Km 3.5, BP 1173, 3038, Sfax - TUNISIE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

Premier responsable : Mohamed DEBYECHE
Tél : +213 23 82 85 39
Fax : +213 23 82 85 29
E-mail : enp@g.enp.edu.dz
Site Web : www.enp.edu.dz
Adresse : 10 Avenue Hassen Badi, BP 182, El Harrach, 16200, Alger - ALGERIE

CENTRE DE DEVELOPPEMENT DES TECHNOLOGIES AVANCEES D'ALGER

Premier responsable : Brahim BOUZOUIA
Tél : +213 21 35 10 18 / +213 21 35 10 40
Fax : +213 21 35 10 39
E-mail : contact@cdta.dz
Site Web : www.cdta.dz
Adresse : Cité 20 août 1956 Baba Hassen, Alger - ALGERIE

SOCIETE DES ACIERIES DE TUNISIE - SIDENOR

Premier responsable : Fathi MOKHTAR
Tél : +216 71 90 11 41 / +216 71 90 09 24 / +216 72 67 96 10
Fax : +216 71 90 10 76 / +216 72679691
E-mail : contact@sidenor.com.tn
Site Web : www.sidenor.com.tn
Adresse : Av, du japon, Imm Ennozha, Montplaisir, 1073, Tunis - TUNISIE

VIBRATECH

Premier responsable : Sofien HAKIMI
Tél : +216 71 45 12 60
Fax : +216 71 45 12 64
E-mail : vibratech@planet.tn
Site Web : www.olympus-ims.com
Adresse : Rue Malek Ibn Anés, Rés. Saâda, Ezzahra, 2034, Ben Arous - TUNISIE

AIR LIQUIDE

Premier responsable : Yassine TABOUBI
Tél : + 216 70 16 47 01 / + 216 36 40 10 00
Fax : +216 71 40 97 51
E-mail : al.tunisie@airliquide.com
Site Web : www.tn.airliquide.com
Adresse : 37 Rue des Entrepreneurs, ZI Charguia II, BP 177, Ariana-Aéroport 2035 - TUNISIE

SOCIETE MAGHREB SOUDURE

Premier responsable : Habib LOUKIL
Tél : +216 74 44 47 04 / +216 74 44 47 05 / +216 74 44 47 06
Fax : +216 74 44 47 03
E-mail : contact@maghreb-soudure.com.tn
Site Web : www.maghreb-soudure.com.tn
Adresse : Route de Tunis Km 1.5 Immeuble Dar Essalem, Sfax - TUNISIE

LINCOLN ELECTRIC –BUREAU TUNISIE

Premier responsable (North west and Central Africa - Indian Ocean) : Ilyes BEN HAMADOU
Tél : +216 74 41 51 10
Fax : +216 74 41 51 09
E-mail : ibenhamadou@lincolnelectric.eu
Site Web : www.lincolnelectric.com/fr-fr/
Adresse : Rte Gremda Km 0.5, Imm. Jebli Centre 4ème étage 402/A, Sfax - TUNISIE

GENERAL INDUSTRY

Premier responsable : Ali HADDED
Tél : +216 73 58 08 88
Fax : +216 73 48 63 72
E-mail : contact@general-industry.com
Site Web : www.general-industry.com
Adresse : Rue Hassen Touhami Jemmel, 5020, Monastir - TUNISIE

TECHNOLOGIES PRESTATIONS

Premier responsable : Rabah TLILI
Tél : +216 71 38 92 03
Fax : +216 71 38 92 15
E-mail : technoprest@technoprest.com.tn
Site Web : www.technoprest.com.tn
Adresse : GP1 Route de Sousse, Km 5.5 ZI Ben Arous, 2010, Ben Arous - TUNISIE

FRONIUS

Premier responsable (Area Sales Manger) : Thomas HIESMAYR
Tél : +43 (664) 88 53 66 63
Fax : +43 (7242) 241-953940
E-mail : hiesmayr.thomas.asm@fronius.com
Site Web : ww.fronius.com
Adresse : Fronius Internationa GmbH Froniusplatz 1 / 4600 Wels - AUSTRIA

VOESTALPINE BÖHLER WELDING

Premier responsable (Afrique du Nord) : Karim GARAALI
Tél : +212 6 61 14 58 49
Fax : +33 1 30 05 49 00
E-mail : karim.garaali@voestalpine.com
Site Web : www.voestalpine.com/welding
Adresse : 14, place Georges Pompidou 78180 Montigny-le-Bretonneux - FRANCE.

OLYMPUS - VIBRATECH

Premier responsable : Sofien HAKIMI
Tél : +216 71 45 12 60
Fax : +216 71 45 12 64
E-mail : vibratech@planet.tn
Site Web : www.olympus-ims.com
Adresse : Rue Malek Ibn Anés, Rés. Saâda, Ezzahra, 2034, Ben Arous - TUNISIE

UNIVERS INOX INDUSTRIEL

Premier responsable : Amen Allah BOUKER
Tél : +216 73 81 04 64 / +216 50 19 10 04 / +216 21 62 19 70
Fax : +216 73 81 04 64
E-mail : u2i@groupe-univers-inox.com
Site Web : www.groupe-univers-inox.com
Adresse : Rue Omar El mokhtar, Kabissa, Akouda, 4022, Sousse - TUNISIE

AXXAIR TUNISIE

Premier responsable : Amen Allah BOUKER
Tél : +216 73 81 04 64 / +216 50 19 10 04 / +216 21 62 19 70
Fax : +216 73 81 04 64
E-mail : uit@groupe-univers-inox.com
Site Web : www.groupe-univers-inox.com
Adresse : Rue Omar El mokhtar, Kabissa, Akouda, 4022, Sousse - TUNISIE

COMPUTER AIDED TECHNOLOGIES

Premier responsable : Hassen KANNOU
Tél : +216 74 45 13 26
Fax : +216 74 46 07 68
E-mail : cat@gnet.tn
Site Web : www.cat.com.tn
Adresse : Route Menzel Chaker Km 1, Résidence Essaâda N° 43, 3003, Sfax - TUNISIE

JAMAL INOX

Premier responsable : Ahmad DJEMAL
Tél : +216 74 44 32 83 / +216 27 43 80 05
Fax : +216 74 44 32 80
E-mail : dg@jmalinox.com
Site Web : www.jmalinox.com
Adresse : Z.1. Poudrière II, près du COCACOLA, BP69, 3018, Sfax - TUNISIE

GLOBAL METAL INOX

Premier responsable : Ahmad DJEMAL
Tél : +216 74 22 69 63 / +216 74 42 74 25
Fax : +216 74 44 32 80
E-mail : gminox@topnet.tn
Site Web : www.gmi.tn
Adresse : Av. de l'Algérie, rue Ibn Bediss, Imm. Hentati N°1,3000, Sfax - TUNISIE

CONSTRUCTION ET EMBOUTISSAGE METALLIQUE

Premier responsable : Moncef HAJ KACEM
Tél : +216 74 40 82 11
Fax : +216 74 40 80 88
E-mail : cem@cem.com.tn
Site Web : www.cem.com.tn
Adresse : 14 Rue de l'Utique 3003 Sfax - TUNISIE

RISEL INDUSTRIES

Premier responsable : Said TAKTAK
Tél : + 216 74 45 44 50 / +216 24 50 05 30
Fax : + 216 74 45 42 90
E-mail : contact@risel-industries.tn
Site Web : www.risel-industries.com.tn
Adresse : Route de Gabès KM 6, BP 178, Cité El Habib, 3052, Sfax - TUNISIE

SOCIETE LE PROGRES INDUSTRIEL

Premier responsable : Leila AYADI
Tél : +216 74 46 95 33
Fax : +216 74 46 95 35
E-mail : contact@slpi.com.tn
Site Web : www.slpi.com.tn
Adresse : Route de Gabes km 2,5 ZI Sidi Salem, 3000, Sfax - TUNISIE

SOCIETE TECHNIQUE INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE

Premier responsable : Khaled ABDELKAFI
Tél : +216 79 21 81 70
Fax : +216 71 29 49 83
E-mail : contact@samfi.tn
Site Web : www.sotic.tn
Adresse : Rte de Sousse, Km14, Hammam Lif, 2050, Ben Arous - TUNISIE

ETABLISSEMENT BAKLOUTI ABDERRAOUF

Premier responsable : Abderraouf BAKLOUTI
Tél : +216 74 83 05 26
Fax : +216 74 83 08 11
E-mail : eba.abderaouf@tunet.tn
Site Web : www.eba-laser.com
Adresse : Z.I. Sakiet Eddaier 3054 Sfax - TUNISIE

ALHAMID INDUSTRIE

Premier responsable : Mohamed KRICHEN
Tél : +216 74 28 60 71
Fax : +216 74 28 60 72
E-mail : mouna.alhamid@tunet.tn
Site Web : www.alhamidindustrie.tn
Adresse : Z.I Poudrière, 1 rue Jamel Eddine Al Afghani 3002 Sfax - TUNISIE

INSTITUT POLYTECHNIQUE DES SCIENCES AVANCEES - SFAX

Premier responsable : Najib KAMMOUN
Tél : +216 74 22 56 65
Fax : +216 74 22 54 17
E-mail : contact@ipsas-ens.net
Site Web : www.ipsas-ens.net
Adresse : Avenue 5 Août, Rue Saîd Aboubaker, 3002, Sfax -TUNISIE

XPERT-MECA

Premier responsable : Wael Abdelaziz BEN LAMINE
Tél : +216 73 81 03 46
Fax : +216 73 81 03 47
E-mail : info@xpert-meca.com
Site Web : www.xpert-meca.com
Adresse : Avenue de la République Akouda 4022 Sousse - TUNISIE

KUKA

Premier responsable (Région Maghreb) : Jamel EL BARK
Tél : +212 6 61 11 12 83
Fax :
E-mail : kuka.ma@kuka.fr
Site Web : www.kuka-robotics.com/fr
Adresse : 7 Rue du Capitaine Vuillanier, Ain Sebaa, 20 250, Casablanca - MAROC

SNTS'2015

Un séminaire sert à élargir son réseau de collaborateurs, à mieux connaître son industrie, à actualiser certaines connaissances professionnelles et à refaire le plein d'enthousiasme.

Nous nous affairons depuis quelques mois déjà à préparer pour vous un événement qui saura répondre à vos attentes.

Nous sommes très heureux de vous accueillir dans cette deuxième session du

SNTS'2015

Comité d'organisation

SNTS'2015

SIDENOR سدنور

SMS
Sté MAGHREB SOUDURE شركة مغرب لحام

LINCOLN ELECTRIC
THE WELDING EXPERTS

TECHNOPREST
TECHNOLOGIES PRESTATIONS

OLYMPUS

RISEL
RISEL INDUSTRIES
Construction Métallique et Mécanique

CAT
COMPUTER AIDED TECHNOLOGIES

SLPI
SA LE PROGRÈS INDUSTRIEL
CHAUDRONNERIE, CONSTRUCTION MÉTALLIQUE & MÉCANIQUE

SOTIC

ALHAMID INDUSTRIE للصناعة

meca

CEM
Construction et Emboutissage Métallique

Université Privée du Sud
Polytechnique
DES SCIENCES AVANCÉES
SFAX

EBA
CONSTRUCTION METALLIQUE

KUKA

XPERT-MECA
NOTRE EXPERIENCE FAIT LA DIFFERENCE

ENIS

C.D.T.A

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Construction Métallique Soudage
Mouzi Bourguiba
Centre Sectoriel de Formation

Vibratech
Des Solutions de Contrôle Industriel

AIR LIQUIDE

General Industry

Fronius
SHIFTING THE LIMITS

voestalpine Böhler Welding

Univers Inox industriel

UIT
Représentant officiel
AXXAIR Tunisie

JMAL INOX

GMI
Global Metal Inox

www.snts.ats-tn.net

www.ats-tn.net