

Production d'Hydrogène et ces Applications dans le Domaine de Soudage

S. Dehimi, A. Boutaghane, N. Hamouda et R. Badi

Welding and NDT Research Centre (CSC). BP 64 CHERAGA – ALGERIA
Email: s.dehimi@csc.dz

Résumé— Lors des procédés de soudage, de l'hydrogène pourrait être produit en faibles quantités par les réactions chimiques dues à l'interaction métal de base/métal d'apport en présence de forts gradients de températures et d'humidité. D'autre part, l'hydrogène pourrait être utilisé en faible proportion dans les gaz de protection d'où l'intérêt de comprendre et de cerner avec précision le rôle de l'hydrogène dans les procédés de soudage.

En produisant de l'hydrogène au moyen d'une pile à combustible, servira de simuler la production de l'hydrogène lors des opérations de soudage. Par la suite, la pile à combustible pourrait être utilisées comme capteur d'hydrogène.

En effet, L'hydrogène peut être produit à partir de plusieurs technologies (p. ex., reformage, gazéification ou électrolyse). Le reformage est une méthode employée dans la plupart des systèmes commerciaux pour produire l'hydrogène à partir de l'hydrocarbure léger. Le présent travail présente la production d'hydrogène dans une pile à combustible SOFC par la réaction de vaporeformage, cette production est confirmée par les champs thermiques de cette réaction dans une pile à combustible standard (Ni-YSZ//YSZ//LSM) type SOFC à anode supportée sous l'effet de la réaction chimique de vaporeformage. Cette étude est faite dans le plan perpendiculaire à l'écoulement des gaz. La PàC est alimentée par l'air et le carburant; CH₄, H₂, CO₂, CO et H₂O d'où la naissance du phénomène du reformage interne direct (RID-SOFC). Elle est basée sur les réactions chimiques de reformage; la réaction de vaporeformage et la réaction du gaz à l'eau. Le but principal de ce travail est la confirmation de la production d'hydrogène par la visualisation des champs thermiques sous l'effet de la réaction chimique de vaporeformage et la confirmation du comportement thermique de cette réaction chimique qui est une réaction endothermique. Les champs thermiques sont obtenus par un programme informatique (FORTRAN).

Mots clé— soudage, gaz de protection, hydrogène, automatisation vaporeformage, Champs thermiques.

I. INTRODUCTION

L'automatisation des procédés de soudage vise à garantir plus particulièrement, une meilleure qualité par diminution du nombre de défauts ou de pièces défectueuses et un allègement significatif des opérations de contrôle et de leur coût [1-2]. Divers moyens sont utilisés dans ce but tels que :

- des systèmes et des conditions de soudage précis, insensibles aux aléas et s'adaptant automatiquement sans

intervention manuelle, systèmes basés sur la régulation des valeurs e paramètres électriques ou thermiques (courants, tensions, températures) et capables de tenir compte de variations aléatoires de conditions de soudage, d'écarts de géométrie des parties à assembler résultant de leur élaboration.

- des dispositifs de surveillance automatique du déroulement des opérations de soudage en cours, avec enregistrement d'événements, émission de messages et édition de rapports.
- La qualité des assemblages sera d'autant mieux assurée et son contrôle plus facile et moins cher que l'automatisation à ce niveau sera plus efficient [1],[4].

Pour assurer des assemblages soudés de très haute qualité, précis et parfaitement reproductibles ils nos devons des gaz de protection, parmi ces gaz utilisés nous avons l'hydrogène [1], [6]. Ci pour ce la on est intéressé par la production d'hydrogène.

II. GENERALITE SUR LE SOUDAGE

Il existe de nombreux procédés de soudage dont les principes et la mise en œuvre sont très différents. Pour les uns l'assemblage est obtenu par fusion locale des éléments à assembler, pour d'autres, la continuité métallique est obtenue sans fusion par effets purement mécaniques. On peut aisément classer ces procédés en fonction des énergies mises en œuvre comme nous a présentés sur la Fig. 1 [1], [2], [9].

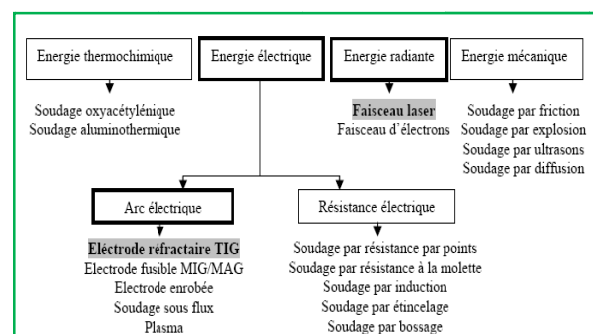


Fig.1. Classification des procédés de soudage selon les

différentes sources d'énergie

La conséquence directe de cette classification est la comparaison des énergies des différentes sources. Notons qu'il est préférable d'utiliser la notion d'énergie spécifique (énergie par unité de surface) pour comparer les différents procédés entre eux [1, 5, 6, 9, 10]

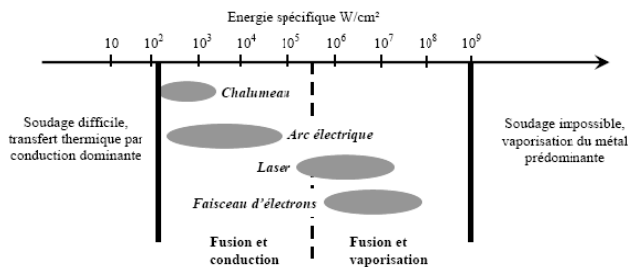


Fig. 2 Sources thermiques et densité d'énergie

Il ressort alors que les procédés à l'arc électrique ont des densités d'énergie moyennes et que leur rendement va varier suivant que l'on ait ou non transfert de métal. En effet, ce dernier facteur va nettement conditionner le rendement d'arc mais surtout le taux de dépôt de métal qui est un des critères de production important dans le choix du procédé pour une réalisation donnée.

Les procédés de soudage par fusion les plus répandus pour l'assemblage des alliages d'aluminium sont le soudage à l'arc avec électrode de tungstène (procédé TIG), le soudage MIG, le soudage par faisceau d'électrons pour de fortes épaisseurs, et le soudage laser pour les faibles épaisseurs et les microsoudures [1, 3, 7].

A. Procédé de soudage TIG

L'existence du procédé TIG remonte aux années 1930 et son développement remonte à la deuxième guerre mondiale avec l'utilisation de nouveaux matériaux tels que les alliages d'aluminium et de magnésium [1].

B. Principe du soudage TIG

Le soudage TIG (Tungsten Inert Gas) également appelé GTAW (Gas Tungsten Arc Welding,) aux USA est d'abord un procédé à arc. L'arc s'établit entre l'électrode non fusible et la pièce à souder sous la protection d'un gaz inerte [1-2]

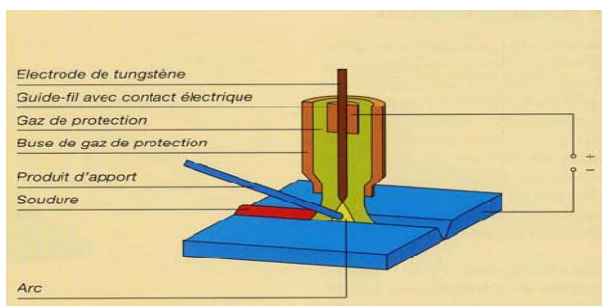


Fig. 3. Principe du soudage TIG

L'électrode réfractaire en tungstène peut contenir des éléments d'addition comme le thorium ou l'yttrium qui favorisent l'émission électronique. L'arc et le bain fondu sont protégés de l'atmosphère ambiante par l'utilisation d'un gaz neutre.

L'argon est le gaz le plus couramment utilisé mais il peut être parfois mélangé avec de l'hélium ou de l'hydrogène pour améliorer la soudabilité. L'électrode n'est pas fusible et ce procédé peut s'appliquer avec ou sans métal d'apport [1, 5, 7, 8, 10].

III. TYPE DE GAZE DE PROTECTION

Dans le procédé de soudage TIG, L'électrode en tungstène étant un matériau très oxydable et qui plus est, l'oxyde de tungstène se sublimant à basse température, le gaz de protection en soudage TIG et le gaz plasmagène en soudage plasma ne peuvent contenir oxygène et le gaz carbonique qu'en très faibles quantités [1, 2, 5, 8, 10]. L'argon est le gaz le plus couramment utilisé mais il peut être parfois mélangé avec de l'hélium ou de l'hydrogène pour améliorer la soudabilité.

A. Production d'hydrogène

L'hydrogène est un vecteur énergétique et non pas une source d'énergie [11]. Les besoins en hydrogène sont très importants, celui-ci n'étant pas disponible à l'état naturel [12-15]. Il est donc nécessaire de le produire, on cherche alors à la produire à partir du nucléaire, des énergies renouvelables et fossiles, ces dernières et en particulier les hydrocarbures sont les plus couramment utilisées. Cependant, pour être économiquement et écologiquement viable, le procédé de production doit répondre aux trois critères suivants [13]:

- Compétitivité économique: le coût de production doit être au plus égal à celui d'un autre vecteur. Avec les envolées du prix du baril de pétrole, il semble que cette situation ne soit plus aussi inenvisageable qu'auparavant.
- Rendement énergétique: la production d'hydrogène ne doit pas nécessiter trop d'énergie.
- Propreté environnementale: le processus de fabrication doit être non polluant et ne pas rejeter de composés néfastes pour l'environnement (CO, CO₂...).

B. Aspect théorique du reformage

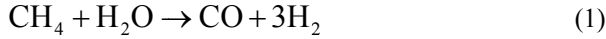
La conversion d'un hydrocarbure en gaz riche en hydrogène dans une pile à combustible SOFC se fait par le basais de réaction catalytique que l'on peut classer en trois catégories suivantes [12]:

- Le vaporeformage;
- L'oxydation partielle;
- Le craquage catalytique.

C. Réaction de vaporeformage

Le reformage à la vapeur, ou vaporeformage, est le

procédé le plus ancien et le plus utilisé pour la production d'hydrogène dans l'industrie à raison de 50% de la production mondiale d'hydrogène [12]. Son principe consiste à faire réagir un mélange de vapeur d'eau et de gaz naturel, considéré ici comme du méthane. Sa principale réaction est donnée par l'équation suivante [16].

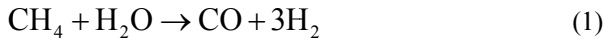


La réaction (1) est endothermique et favorisée par des températures élevées [14], [16]. C'est donc cette réaction qui nécessite l'apport d'énergie. La température de la pile diminue à cause de cette réaction. Le vaporeformage interne au cœur de pile est important car il permet de consommer la totalité du méthane et d'augmenter ainsi le rendement global.

IV. RESULTAT

La production d'hydrogène est confirmée par l'apparition des champs thermiques sous l'effet de la réaction du vaporeformage

- Réaction du vaporeformage:



Les champs thermiques sont affichés pour deux valeurs de température des gaz, pour chaque température on prend trois valeurs de pression. Pour chaque valeur de pression des gaz à l'entrée on montre l'effet de source de chaleur due à la réaction du vaporeformage. La visualisation des champs thermiques sont faites sous les conditions suivante: $T_{\text{gaz}} = 1173\text{K}$, 1273K , $P_{\text{gaz}} = 1 \text{ bar}$, 2 bar , 3 bar et $\text{CH}_4 = 0.29$, $\text{H}_2 = 0.09$, $\text{CO}_2 = 0.01$, $\text{CO} = 0.01$, $\text{H}_2\text{O} = 0.6$ et $\text{O}_2 = 0.23$

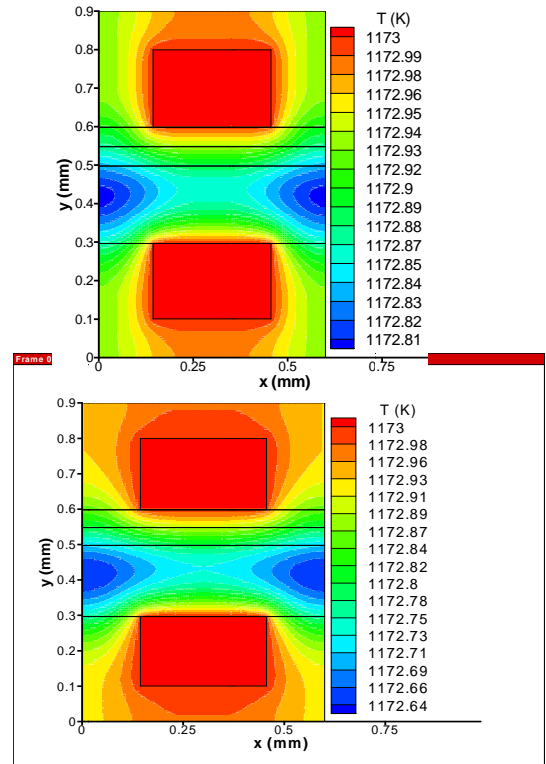
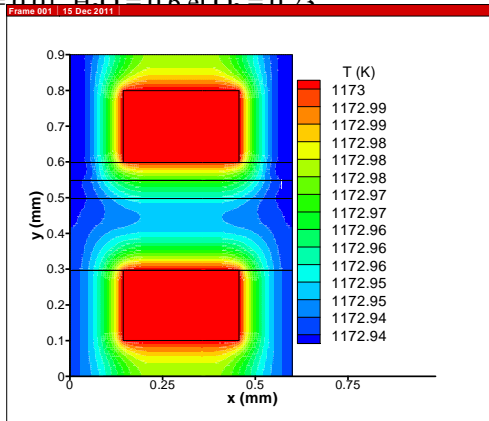


Fig. 4. Champs thermiques sous l'effet de source de chaleur due à la réaction du vaporeformage pour $T = 1173 \text{ K}$ et ces pressions

- (a): $P_{\text{gaz}} = 1 \text{ bar}$
- (b): $P_{\text{gaz}} = 2 \text{ bar}$
- (c): $P_{\text{gaz}} = 3 \text{ bar}$

Les champs thermiques dues à la réaction chimique de vaporeformage dans la pile à combustible SOFC à anode supportée sont illustrées dans les figure.4: (a) (b), (c) à $T_{\text{gaz}} = 1173\text{K}$, et figure.4: (a) (b), (c) à $T_{\text{gaz}} = 1273\text{K}$. Avec (a) à $P_{\text{gaz}} = 1 \text{ bar}$, (b) à $P_{\text{gaz}} = 2 \text{ bar}$ et (c) à $P_{\text{gaz}} = 3 \text{ bar}$.

- La figure 4 (a): on a un transfert de chaleur des canaux, milieu plus chaud, vers les autres constituants de la PàC.
- La figure 4 (b): montre l'apparition du phénomène de reformage à $P_g = 2 \text{ bar}$. L'endothermicité de la réaction du vaporeformage est confirmé par la diminution de la température; $\Delta T = - 0.13 \text{ K}$. La température minimale, $T_{\text{min}} = 1172.81 \text{ K}$ est toujours localisé dans les parties de l'anode loin des canaux,
- La figure 4 (c): on a un abaissement de température de la PàC $\Delta T = - 0.3 \text{ K}$. Ceci est provenu de la consommation de chaleur par la réaction vaporeformage;

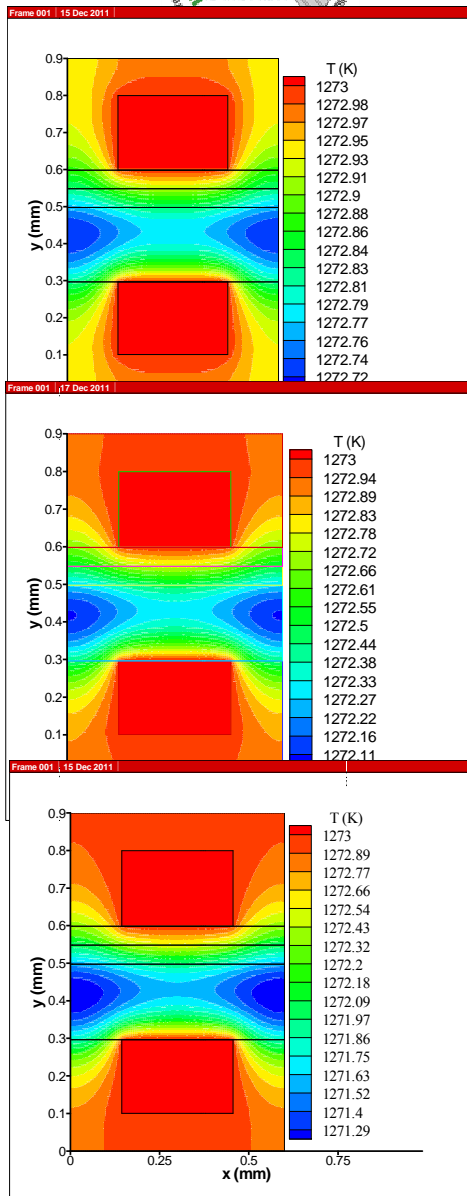


Fig. 5. Champs thermiques sous l'effet de source de chaleur due à la réaction du vaporeformage pour $T=1173$ K et ces pressions

- (a): $P_{\text{gaz}} = 1$ bar
- (b): $P_{\text{gaz}} = 2$ bar
- (c): $P_{\text{gaz}} = 3$ bar

À $T_g = 1273$ K, la même explication pour la figure (fig.5. (a, b, c)) mais on a une différence importante dans la consommation d'énergie. Figure 5.

V. CONCLUSION

L'hydrogène est un vecteur énergétique et non pas une source d'énergie. Les besoins en hydrogène sont très importants et très diversifiés en particulier dans le domaine énergétique. Par ailleurs, l'hydrogène peut être présent dans certains procédés industriels tels que les procédés de soudage, l'hydrogène n'étant pas disponible à l'état naturel. Il est donc nécessaire de le produire. L'hydrogène peut être produit à partir d'une

diversité de matières premières (p. ex., gaz naturel, biomasse ou eau) et au moyen de plusieurs technologies (p. ex., reformage, gazéification ou électrolyse). Le reformage est une méthode employée dans la plupart des systèmes commerciaux pour produire l'hydrogène à partir de l'hydrocarbure léger.

Pour les meilleures conditions (1273K, 3 bar) la production d'hydrogène est confirmée par l'apparition du comportement thermique des réactions chimiques donc:

- L'endothermicité de la réaction chimique du vaporeformage.

VI. REFERENCES

- [1] Seddik OUALLAM. Etude du soudage TIG et laser Nd-YAG de l'alliage d'aluminium 2024 T3. Mémoire de magister; Avril 2009.
- [2] Principaux procédés de soudage: description, démarche d'évaluation et de prévention des risques.
- [3] Fonds de Formation professionnelle de la Construction Conducteurs d'engins de chantier, techniques appliquées, les techniques de soudage.
- [4] Antony Fernandes, ESAB France. Guide pratique Interne procédé TIG. 11/09/2009.
- [5] Air Liquide. Procédés TIG et plasma. Dossier: soudage TIG et soudage plasma
- [6] Wildling. Produits de soudage professionnels. Soudage TIG
- [7] Procédés de soudage (manuels et semi-automatiques). Chapitre 2
- [8] Soudage TIG. Généralités et critères de choix.
- [9] ESAB AB Welding Equipment AB, Laxå, Sweden. Les fondamentaux du procédé MIG/MAG. Dan Erlandsson 2007.
- [10] Rocardier. cours de soudure TIG (Soudage TUNGSTEN INERT GAS). 20/09/2013.
- [11] Mihai Radulescu. Systèmes de cogénération d'électricité et de chaleur avec piles à combustible de type PEMFC ou SOFC et vaporeformage externe. Thèse de Doctorat. Université Henri Poincaré, Nancy I. 2006.
- [12] Emmanuelle Ambpoise. Production embarquée d'hydrogène par reformage catalytique des hydrocarbures. Thèse de Doctorat. Université Strasbourg. 2010.
- [13] Anthony Le Valant. Production d'Hydrogène par Vaporeformage du Bioéthanol Brut. Thèse de Doctorat. 2008.
- [14] Fabien Auprêtre. L'hydrogène comme vecteur énergétique. Compagnie Européenne des Technologies de l'hydrogène. 2007.
- [15] M. Arthur Mofakhami. Hydrogène & Applications. IEA Energy Technology Essentials. 2007.
- [16] Robert Lankester. les Nouvelles Energies Une Alternative Credible. Université de la Méditerranée.