pD5 CONTRIBUTION A L'ETUDE DE QUELQUES PROPRIETES DE LA TORCHE A PLASMA LORS DE L'INTERACTION AVEC LES METAUX

H. DAOUI, F. KHELFAOUI et M.T. MEFTAH

Laboratoires LENREZA et LRPPS et Département Sciences de la Matière, Faculté des Sciences et Technologies et des Sciences de la Matière, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 30000 Ouargla, Algérie E-mail: hafsadaoui@gmail.com

RÉSUMÉ : Dans ce travail nous avons proposé un modèle numérique d'étude de quelques propriétés de la torche à plasma (calcul des vitesses, de densités de courant, du champ magnétique, du champ électrique et de l'énergie électromagnétique du plasma utilisé). Le plasma considéré est un plasma d'argon. Nous avons supposé que le plasma est un fluide newtonien et nous avons utilisé les équations de conservation. Nous avons résolu les équations différentielles de Navier Stockes, de continuité et les équations l'électromagnétisme et nous avons utilisé la méthode des différences finies et l'algorithme itératif de Gauss Seidel. Nous avons analysé les résultats obtenus et dont nous avons représenté quelques profiles des champs magnétique, densité du courant, l'énergie électromagnétique, champ électrique et des vitesses. La comparaison de nos résultats avec d' autres résultats publiés montre un bon accord.

MOTS-CLÉS : torche à plasma, soudage, méthode de différences finies, équations de Navier Stockes, électromagnétisme, fluide incompressible, fluide compressible

1. Introduction :

Les procédés de soudage et de coupage occupent une place importante dans l'univers de la construction des bateaux, fusées et automobiles. De nouvelles technologies de soudage et de coupage, largement robotisées, mettent en œuvre le laser et le plasma.

Le soudage est le procédé qui permet de reconstituer la continuité métallique entre les surfaces des éléments à assembler. De nombreux procédés de soudage peuvent exister comme la soudage à l'arc électrique.

Le but de ce travail est l'étude des vitesses, de la densité de courant, du champ magnétique, du champ électrique, l'énergie électromagnétique, la densité d'énergie électromagnétique et la différence de potentielle de la torche à plasma.

Ce travail est basé sur les hypothèses suivantes : le plasma est considéré comme fluide, le système est à symétrie cylindrique, l'écoulement est stationnaire et les effets de la gravité sont négligés [1]. Aussi, on peut ajouter d'autres hypothèses qui se résument aux points suivants :

- 1/ le fluide est newtonien.
- 2/ la température est constante (10000K).
- 3/ le régime de l'écoulement est laminaire.

On peut noter que la viscosité des plasmas est 10 fois plus importante à 10000 K que celle du gaz à la température ambiante [2]; la viscosité du fluide incompressible ("homogène") est $\mu 0=3.\exp(-4)$ et pour le fluide compressible ("non homogène") ($\mu 0=varie$).

2. Définition du modèle mathématique :

Le modèle est basé sur la résolution des équations de conservations et des équations électromagnétismes par la méthode des déférences finies. Pour trouver la distribution de la vitesse du fluide, on résoud les équations de conservation et on tient compte de la condition

de symétrie $\left(\frac{\partial(...)}{\partial\theta}=0\right)$.

2. 1. Le cas du fluide incompressible :

Équation de continuité pour la composante radiale V_r de la vitesse :

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rV_{r}\right) + \frac{\partial V_{z}}{\partial z} = 0 \tag{1}$$

Équation de la quantité de mouvement suivant z pour la composante axiale V_z de la vitesse :

$$\rho(v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z}) = \mu(\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2})$$
(2)

2. 2. Le cas du fluide compressible:

On peut écrire les équations de conservation sous la forme suivante [3, 4] :

$$div(\rho \vec{V}\Phi) = div(\Gamma^{\Phi} grad\Phi) + S^{\Phi}$$
(3)

Le tableau suivant donne les expressions des termes Φ , Γ^{Φ} et S^{Φ} selon les équations de continuité et de la quantité de mouvement :

Equation	Φ	Γ^{Φ}	S^{Φ}
Continuité	1	0	0
Mouvement suivant r	V _r	μ	$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\mu\frac{\partial V_r}{\partial z}) - \frac{2}{3}\frac{\partial}{\partial z}(\mu\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}[rV_r]) + \frac{1}{3}\frac{\partial}{\partial z}(\mu\frac{\partial V_z}{\partial z}) + j_r B_{\theta}$
Mouvement suivant z	Vz	μ	$\frac{1}{3r}\frac{\partial}{\partial r}(r\mu\frac{\partial V_r}{\partial r}) - \frac{2}{3r}\frac{\partial}{\partial r}(\mu V_r) - \frac{2}{3r}\frac{\partial}{\partial r}(\mu r\frac{\partial V_z}{\partial z}) + \frac{\partial}{\partial z}\mu\frac{\partial V_z}{\partial r} - J_z B_{\theta}$

Tableau: Résumé de l'équation de conservation.

2.3. Équations des champs électromagnétiques :

Le phénomène physique de l'électromagnétisme est souvent décrit par les modèles mathématiques (les équations de J-C MAXWELL).

Les équations de MAXWELL sont données par [2, 6] :

$$\operatorname{div}\vec{B} = 0 \Leftrightarrow \oiint \vec{B}.\vec{ds} = 0$$

$$s$$
(4)

$$B_{\theta} = \frac{\mu_0}{r} \int_0^R J_z r \, dr \tag{5}$$

Le champ électrique et les composantes de la densité de courant sont :

$$\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E} \Rightarrow \mathbf{E}_r = J_r / \sigma, \mathbf{E}_z = J_z / \sigma$$
(6)

$$J_r = \rho_e V_r \tag{7}$$

$$J_z = \rho_e V_z \tag{8}$$

L'équation de la densité d'énergie électromagnétique est donnée par:

$$E_n = 0.5(\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{\mu_0} B_\theta^2)$$
(9)

Où : $\varepsilon_0 = 8,85.10^{-12} (C^2 / Nm^2)$; $\mu_0 = 4\pi .10^{-7} (H / m)$

L'équation de la différence de potentielle est donnée par :

$$dv = \int_{0}^{H} E_{z} dz$$
 (10)

3. Résultats et discussions

3.1. Fluide incompressible

3.1.1. Profils de la composante V et U de la vitesse suivant l'axe z :



Figure 1 : Profils de la composante axiale V de la vitesse en fonction de z



La figure (1) montre la variation des profils de la composante axiale V (la vitesse suivant l'axe z) en fonction de la position z, pour différentes valeurs de r. On remarque que la vitesse V pour les valeurs de z entre 0m et 0.002m est constante où la valeur maximale est 270m/s pour r = 4.10-6m. D'autre part pour z > 0.002m la vitesse V décroît et tend vers 0m/s. D'après cette figure il apparaît que la vitesse diminue par rapport à l'augmentation de r. La figure (2) montre la variation des profils de la composante radiale U (la vitesse suivant l'axe r) en fonction de la position z, pour différentes valeurs de r. On remarque que la vitesse U est nulle pour les valeurs de z entre 0m et 0.0018m. D'autre part pour les valeurs de r entre 0.0018m et 0.01m la variation de la vitesse U est un profil parabolique où la valeur maximale est 13m/s pour r =4.10-6m. D'après cette figure il apparaît que la vitesse décroît par rapport à l'augmentation de r.

Profils des composantes axiale V et radiale U de la vitesse suivant r :





Figure 3 : Profils de la composante axiale V de la vitesse en fonction de r

Figure 4 : Profils de la composante radiale U de la vitesse en fonction de r

La figure (3) présente la variation des profils de la composante axiale V en fonction de r, pour différente valeur de z. On remarque que la forme de la variation de la vitesse V pour les valeurs de r entre 0m et 0.001m est un profil parabolique où la valeur maximale est 270m/s pour z = 4.10-4m. D'autre part pour les valeurs de r entre 0.001m et 0.002m la vitesse V tend vers 0m/s. D'après cette figure il apparaît que la vitesse diminue par rapport à l'augmentation de z.

La figure (4) présente la variation des profils de la composante radiale U en fonction de r, pour différentes valeurs de z. On observe que la valeur de la vitesse commence par zéro puis elle augmente jusqu'a la valeur maximale (U=10.200m/s pour z =39.10-4m) ensuite elle décroit.

Comparaison des résultats obtenus avec d'autres travaux

Les figures (5, 6) réspectivement représentent les résultats (le profil de la vitesse axiale) des travaux de K. Ramachandran et al [7], qui ont utilisé l'argon, dimension de la torche sont r=1.6 mm et z=0.1 m, la vitesse initiale est 460 m/s, et les résultats obtenu par P. Fretonet et al [8], qui ont utilisé l'argon, z=10 mm, la vitesse initiale 270 m/s, et ont calculé les vitesse et les températures pour différentes valeurs du débit (45 L/min, 76 L/min, 116 L/min).



Figure 5 : Profil de la composante de vitesse en



Figure 6 : profil de la composante de vitesse en

Les conditions utilisées dans notre travail sont très proches de celles de K. Ramachandran et al [2] et de P. Fretonet al [8] Nous avons obtenue un profil de la composante de vitesse en fonction de Z (r=0) présenté sur les figures (5, 6).





Figure 7 : profil de la composante de vitesse en



Nous remarquons que les formes générales des figures (7, 8) sont en bon accord avec les figures (5,6) successivement.



Profils du champ magnétique B :

Figure 9 : Profils de champ magnétique B en fonction de

On observe que la valeur du champ magnétique B commence du zéro puis elle augmente pour atteindre une valeur maximal à z = 24.10-4m (B=0.00125T), après elle décroissante. D'après cette figure il apparaît que les valeurs du champ magnétique sont faibles, aussi on remarque que le champ magnétique décroît quand la valeur de z augmente. La forme générale de cette figure est en bon accord avec des travaux précédents [9,10]

3.1.2 Profils de la densité du courant :



Figure 10 : densité du courant en fonction de Z.

Il apparaît que la densité du courant est constant pour z<0.002 m puis elle décroît. La forme générale de cette figure est en bon accord avec des travaux précédents [11]

6. Conclusion

Dans ce travail nous avons proposé un modèle numérique d'étude de quelques propriétés de la torche à plasma (le calcul des profils des vitesses, des champs magnétique et champ électrique du plasma utilisé) à gaz d'argon. Nous avons considéré que la plasma est un fluide et nous avons utilisé les équations de conservation. Nous avons résolu les équations différentielles de Navier Stockes, de continuité et les équations l'électromagnétisme par la méthode de différences finies et l'algorithme itératif de Gauss Seidel. Nous avons analysé les résultants obtenus .On a remarqué que les valeurs du champ magnétique sont faibles, où la valeur maximale est B=0.0001236T pour Z=24.10-4m. La comparaison de nos résultats avec d'autres résultats publiés montre un bon accord entre les deux. Cela montre qu'on peut considère notre programme de calcul comme un outil indispensable dans les études sur le plasma à torche. Ce programme à l'aptitude d'être développée pour calculer d'autres paramètres. Les résultats de notre travail peuvent être utilisés dans d'autres études sur les torches à plasma.

Références

- [1] P. Nicolas ; Thèse de doctorat, juin 2000.
- [2] P. Freton, J. J. Gonzalezm, A. Gleizes, F camy peyret, G. caillibotte et M. Delzenne ; Numerical and experimental study of a plasma cutting torche ; J. Phys. D : appl. Phys. 35, pp 115-131, 2000.
- [3] M. Bertin, J. P. Froux et J. Renault ; 'Cours de physique- Electromagnétisme' ; 3^{eme} Edition Bordas ; Paris ; 1986.
- [4] P. Freton, J. J. Gonzalez et A. Gleize; Comparaison between a two and a three dimensional arc plasma configuration; J. Phys. D: Appl. Phys. **33**; pp2442-2452, 2000.
- [6] M. Bertin, J. P. Froux et J. Renault ; 'Cours de physique- Electromagnétisme' ; 3^{eme} Edition Bordas ; Paris ; 1986.
- [7] K. Ramachandran;' 3D modelling of plasma-particle interactions in a plasma jet under dense loading conditions'; J. Phys. D : Appl. Phys. **435**, pp298-306, (2003).
- [8] P. Freton, J. J. Gonzalez et A. Gleize ; 'Comparison between a two and a three dimensional arc plasma configuration' ; J. Phys. D : Appl. Phys. **33**, pp2442-2452, (2000).
- [9] P. Ferton ; Doctorat de l'université Paul Sabatier ; Toulouse III ; novembre 2002.
- [10] L. Reynard ; Doctorat de l'école central de Lyon ; Février 2006.
- [11] Frédéric. LAGO ; Doctorat de l'université Paul Sabatier ; Toulouse III ; Mars 2004.