

ETUDE NUMERIQUE D'UN CONTACT NONLINEAIRE ELASTOPLASTIQUE BIDIMENSIONNEL EN UTILISANT LA METHODE DES ELEMENTS FINIS

I. Samir DANOUNI¹, Abdellah ABDELLAH EL-HADJ², Farouk ZIANE³

¹ LMP2M, Université de Médéa, 26000. Algérie, danounis@yahoo.fr

² LMP2M, Université de Médéa, 26000. Algérie, a_a_elhadj@hotmail.com

³ LMP2M, Université de Médéa, 26000. Algérie, zianefarouk@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Ce document discute le développement d'un modèle numérique de simulation d'un contact élastoplastique bidimensionnel non linéaire entre un demi-cylindre en Aluminium 2024-T3 et un substrat en tungstène WC avec un comportement des matériaux multilinéaires isotrope (MISO), en utilisant la méthode des éléments finis avec le code ANSYS (APDL). Au début, pour valider le présent modèle numérique, nous avons utilisé un modèle analytique qui est basé sur la théorie Hertzienne. On a étudié un contact élastique pour des faibles charges (0.3 à 2 KN), pour assurer une déformation purement élastique. Après on a élaboré un modèle de contact élastoplastique. On a vu que la considération élastoplastique est très importante pour les charges et les déformations assez importantes.

Mots clés : *contact, élastique, élasto-plastique, bidimensionnel, non-linéaire.*

NOMENCLATURE

Symboles :

a rayon de contact, m

A coefficient d'élasticité, Pa

b sensibilité de la souche

d diamètre de cylindre, m

E module de Young

F charge appliquée, N

l longueur de contact, m

$p_{C,max}$ pression maximale, Pa

S résistance à la compression Pa

Lettre grecques :

σ_0 limite d'élasticité initiale, Pa

ν coefficient de Poisson

ε déformation mécanique, m

1. INTRODUCTION

Le contact entre les pièces est un phénomène important dans les conceptions mécaniques, telles que les contacts électriques, les raccordements, les tubes d'échangeur de chaleur (comme dans les applications nucléaires, les dispositifs de stockage de données), les véhicules, la soudure, la projection thermique, et dans d'autres applications. Le contact a une forte non-linéarité, parce que la rigidité normale et tangentielle aux surfaces de contact change d'une manière significative avec le changement du statut de contact. Zhao J. H et autres (2012) [1], ont constaté que le comportement non-élastique du matériel, le frottement, la rugosité, et la lubrification provoquent la non-linéarité. Plusieurs études analytiques, expérimentales, et numériques ont été réalisées afin de simuler et étudier le contact élasto-plastique lisse, rugueux ou indenté. Pour le contact élastique, Hertz H, (1982)

[2], a développé un modèle analytique considérant deux sphères élastiques, il décrit effectivement la relation de force de contact-déplacement dans le cas d'une petite déformation (contrainte de contact moins de 1%). Après celle, beaucoup de recherches théoriques significatives ont été faites. En outre, des recherches ont été faites par Antaluca E (2005) [3], pour étudier un contact élastoplastique pour des déformations plus importantes.

beaucoup de recherches ont été faites pour l'étude d'un contact entre un hémisphère et une surface plate. Dont pour la plupart des études l'un des objets de contact est considéré rigide. Les modèles de contact peuvent être classés en deux groupes principaux, l'indentation et l'étalement. Pour le premier modèle l'hémisphère est considéré rigide, et la surface plate est considéré déformable, dont Brinell. J (1900) [4], a développé un modèle du contact afin de déterminer la dureté des matériaux, Hardy C et autres (1971) [5], ont étudié des cas plus complexes du contact qui ont pris en considération l'élasticité, plasticité, élastoplasticité, rugosité, écrouissage. Pour le second modèle, la surface plate est considérée rigide, et l'hémisphère est déformable, plusieurs recherches ont été faites pour ce cas, Johnson K (1968) [6] a considéré un substrat plat rigide et un indenter qui se déforme purement plastic. Après Thornton C et autres (1994) [7], ont considéré que l'indenter se déforme d'une manière élastoplastique avec une dureté constante, comme elle a été considéré variable par Jackson R et autres (2005) [8]. Doca T (2014) [9] a utilisé des formules empiriques pour la phase élastoplastique pour déterminer la relation déformation-contrainte. Brake M (2012) [10], a développé un modèle d'un contact considérant que les deux corps de contact sont déformables.

Le but de cette étude est de modéliser un contact entre deux corps déformables (demi-cylindre et plat), et qui ont un comportement élastoplastique multilinéaires isotrope (MISO). Ce modèle est résolu par la méthode des éléments finis utilisant ANSYS (APDL). Le modèle numérique (FEM) est validé en comparant ses résultats avec ceux du modèle analytique hertzien pour le cas élastique. En conclusion, des résultats du contact élastoplastique ont été analysés.

2. MODELE MATHEMATIQUE ANALYTIQUE

Nous considérons un contact entre un demi-cylindre en aluminium et un substrat plat en tungstène. Un modèle analytique basé sur la théorie hertzienne a été utilisé pour valider le modèle numérique. Selon la théorie de l'élasticité, la largeur de contact (a) et les valeurs maximales de pression ($p_{C,max}$) sont indiquées par :

$$a = \sqrt{\frac{2Fd}{\pi E^*}} \quad (1)$$

$$\text{Et} \quad p_{C,max} = \frac{2F}{\pi a l} \quad (2)$$

Où F est la charge appliquée, l est la longueur de cylindre, d est le diamètre de cylindre, a est le rayon de contact, et $p_{C,max}$ est la pression maximum. E^* est le module élastique équivalent, défini par :

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \quad (3)$$

Où ν est le coefficient de Poisson du matériel.

Pour le cas d'une déformation non linéaire et non-élastique (élasto-plastique), on a adopté le modèle de Von Mises [4.5]. Ce modèle, suppose que la déformation plastique se produite quand la contrainte équivalente atteinte la valeur critique.

$$\phi = \sigma_{eq} - \sigma_y = \sqrt{\frac{3}{2}} [S:S] - \sigma_y \quad (4)$$

La contrainte uni-axiale des matériaux est décrite par l'équation de Ludwik-Hollomon,

$$\sigma_y = \sigma_0 + A\varepsilon^b \quad (5)$$

Où σ_0 représente la limite d'élasticité initiale, A, le coefficient de force, et b la sensibilité de contrainte.

Nous avons illustré les propriétés des matériaux (figure 1), dont nous avons basé sur l'équation (5)

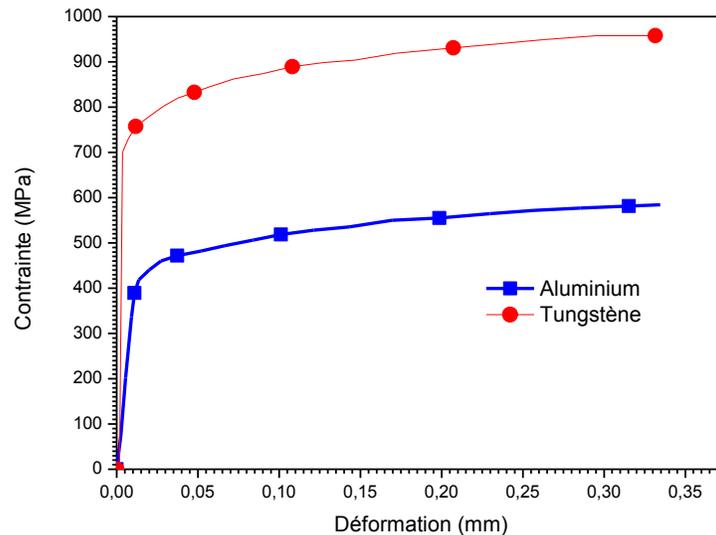


FIGURE 1. Les courbes des caractéristiques multilinéaires isotropiques (MISO) des matériaux

3. MODELISATION NUMERIQUE

Dans cette étude, on a utilisé une méthode des éléments finis pour résoudre un problème de contact non linéaire pour un cas élastique et un autre élastoplastique. Les calculs des éléments finis ont été exécutés en utilisant le code de calcul ANSYS (APDL). Au début, et dans le but de validation du présent programme, on a étudié un contact élastique pour des faibles charges (0.3 à 3 KN), pour que la déformation soit purement élastique. Après on a élaboré un modèle de contact élastoplastique, dont les valeurs des forces appliquées sont plus élevées.

La figure 2, illustre le maillage du domaine physique. Le maillage utilisée dans cette étude est un maillage structuré, et contient 70713 nœuds et 70280 éléments. F est la force appliquée en dessus du demi-cylindre. Le bas de la structure est fixé dans les toutes les directions.

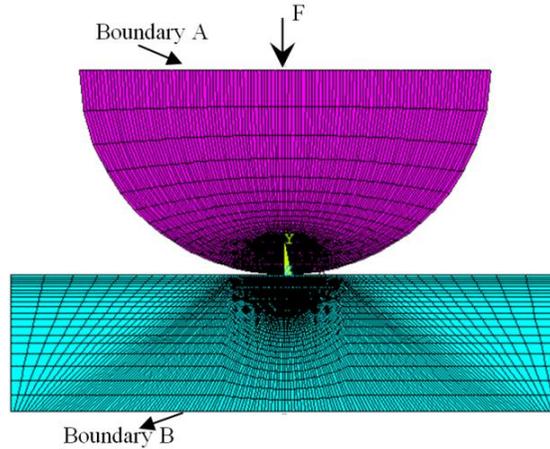


FIGURE 2. Le maillage du domaine physique

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

La première partie de l'étude est consacrée pour la validation du modèle numérique, commençant par un modèle d'un contact élastique entre un demi-cylindre en Aluminium 2024-T3 et un substrat en tungstène WC, en comparant ses résultats avec ceux d'un modèle analytique d'Hertz, et cela pour des faibles forces du chargement, après on a représenté les résultats d'un modèle numérique pour un contact élastoplastique non linéaire. Dans la première partie la force appliquée F est choisie dans une gamme pour assurer un comportement purement élastique.

4.1. Domaine élastique : Les variations de la pression maximale et de la largeur du contact en fonction de la force appliquée sont illustrées dans la figure.3. Les valeurs de la pression maximale du contact obtenues par ce modèle sont adéquates à ceux obtenues par le modèle analytique Hertzien. Comme on a remarqué une petite différence entre les valeurs de la largeur du contact entre les deux modèles.

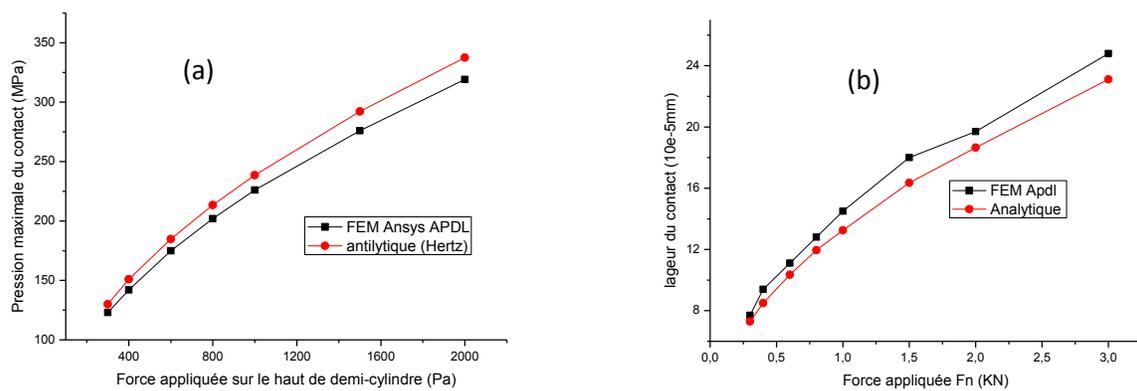


FIGURE 3. Pression maximale (a) et la largeur du contact (b) analytique et numérique en fonction de la force du chargement, pour un contact élastique.

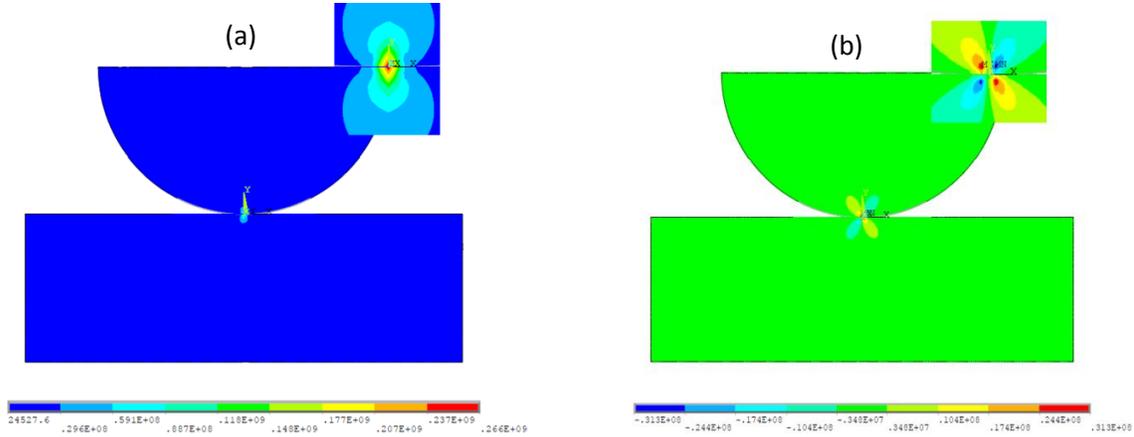


FIGURE 4. Un contact élastique Al-tungstène avec l'agrandissement de la zone de contact ($F=1KN$), a) contraintes de Von-Mises b) contraintes de cisaillement.

La figure 4, représente les contraintes de Von Mises et de cisaillement pour un contact élastique pour une faible charge, dont on a observé que les valeurs maximales sont petites et elles sont condensées autour de la zone du contact.

4.2. Régime plastique : On peut considérer l'aluminium comme un métal malléable, donc pour des forces appliquées assez élevées, on va obtenir une déformation principalement plastique, alors le modèle d'Hertz n est plus utilisé pour ce cas.

La figure 5, Représente les contraintes de Von Mises et de cisaillement pour un contact élastoplastique Al-tungstène ($F=80KN$), on a constaté que les valeurs maximale des contraintes de Von Mises et de cisaillement sont maximale dans la zone de contact et atteint 593 MPa et 206 MPa respectivement. Ses valeurs se diminuant on éloignant de la zone du contact.

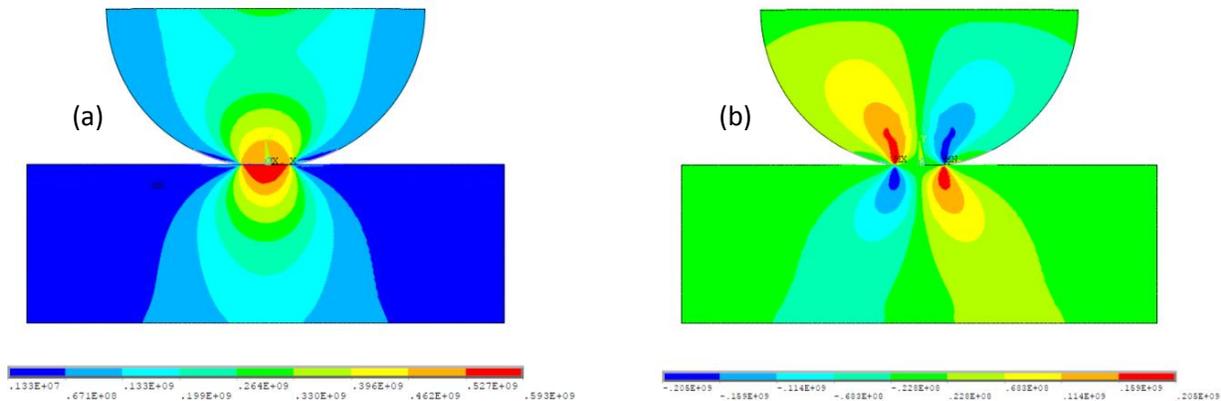


FIGURE 5. Un contact élastoplastique Al-tungstène ($F=80KN$)
a) contraintes de Von-Mises, b) contraintes de cisaillement.

5. CONCLUSIONS

Dans ce travail, un modèle numérique a été développé afin de comprendre le comportement élasto-plastique multilinéaire isotrope (MISO) d'un contact non-linéaire bidimensionnel. Le modèle analytique Hertzienne a été utilisé pour valider le modèle numérique qui est basé sur la méthode des éléments finis résolu par le programme Ansys (APDL) en utilisant l'élément (plane 182). Nous avons constaté que la considération élastoplastique des comportements pour les matériaux est très importante dans le cas des grandes forces de chargement et pour les déformations importantes.

REFERENCES

- [1] N. Massarotti, F. Arpino, R.W. Lewis, and P. Nithiarasu, Fully explicit and semi-implicit CBS procedures for incompressible flows, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 66, 1618-40, 2006.
- [2] O.C. Zienkiewicz and R.C. Taylor, *The Finite Element Method*, 4th Edition, Vol. I, McGraw Hill, 1989, Vol. II, 1991.
- [1] N. Massarotti, F. Arpino, R.W. Lewis, and P. Nithiarasu, Fully explicit and semi-implicit CBS procedures for incompressible flows, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 66, 1618-40, 2006.
- [2] O.C. Zienkiewicz and R.C. Taylor, *The Finite Element Method*, 4th Edition, Vol. I, McGraw Hill, 1989, Vol. II, 1991.
- [1] N. Massarotti, F. Arpino, R.W. Lewis, and P. Nithiarasu, Fully explicit and semi-implicit CBS procedures for incompressible flows, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 66, 1618-40, 2006.
- [2] O.C. Zienkiewicz and R.C. Taylor, *The Finite Element Method*, 4th Edition, Vol. I, McGraw Hill, 1989, Vol. II, 1991.
- [1] N. Massarotti, F. Arpino, R.W. Lewis, and P. Nithiarasu, Fully explicit and semi-implicit CBS procedures for incompressible flows, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 66, 1618-40, 2006.
- [1] J. H. Zhao, S. Nagao, Z. L. Zhang, Loading and unloading of a spherical contact: from elastic to elastic-perfectly plastic materials, *Int J Mech Sci*, 56, (2012) 70-76.
- [2] Hertz H., Ueber die Berührung fester elastischer Körper; *J. Reine Angew Math.* 1881: 92-156.
- [3] E. Antaluca Contribution à l'étude des Contacts élasto-plastiques-effet d'un chargement normal et tangential, Ph.D. thesis, INSA Lyon, France (2005).
- [4] Brinell J. Way of determining the hardness of bodies and some applications of the same. *Teknisk Tidskrift* 1900;5:69.
- [5] Hardy C, Baronet C, Tordion G. The elasto-plastic indentation of a half-space by a rigid sphere. *Int J Numer Methods Eng* 1971; 3 (4):451e62.
- [6] Johnson K. Experimental determination of the contact stresses between plastically deformed cylinders and spheres. In: *Engineering plasticity*. Cambridge: Cambridge University Press; 1968. p. 341e61.
- [7] Thornton C, Ning Z. Oblique impact of elasto-plastic spheres. In: *Proc. 1st int. particle technology forum*, vol. 2; 1994. p. 14e9.
- [8] Jackson R, Green I. A finite element study of elasto-plastic hemispherical contact against a rigid flat. *J Tribol* 2005;127 (2):343e54.
- [9] T. Doca, F.M. Andrade Pires Analysis of a cylinder-to-flat contact problem at finite elasto-plastic strains Original Research Article *Tribology International*, Volume 79, November 2014, Pages 92-98.
- [10] Brake M. An analytical elastic-perfectly plastic contact model. *Int J Solids Struct* 2012;49:3129e41.