

Analyse en éléments finis du comportement thermomécanique des coudes en composites

A. Benzaama^a, E. Abdelouahed^b, M. Mokhtari^c, H. Benzaama^d et S. Gouasmi^e

a. LSIM, Département de Génie Maritime, Université des Science et de la Technologie Mohamed Boudiaf, Oran 31000 Algérie

b,d. LABAB, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran Maurice Audin 31000 Algérie

c,e. LaRTFM, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran Maurice Audin 31000 Algérie

Résumé :

Les coudes sous chargement subissent plus de contrainte et plus de déformation que les tubes droits. La résistance des tubes en composite joue un rôle important dans leur utilisation, l'endommagement sous un comportement thermomécanique d'une structure tubulaire en composite coudée entre deux parties linéaires est étudié dans ce travail. Le modèle de critère de HASCHIN est utilisé à travers une analyse par la méthode des éléments finis. L'objectif principal est de prédire l'effet des principaux paramètres par des courbes de moment de rotation à travers le code de calcul ABAQUS. Ces paramètres évaluatifs sont adressés aux conditions géométriques du coude, en mode de chargement sur les structures pressurisées et à la gravité du défaut, d'où l'avantage de l'utilisation d'éléments Shell comme structure. Les résultats numériques obtenus illustrent que les paramètres étudiés conditionnent le niveau et le mode de défaillance ainsi que la réponse des coudes en composite.)

Mots clés : endommagement thermomécanique, critère de Hashin, MEF, coude en composite

1 Introduction

Les recherches sur l'influence combinée de la pression interne et de la flexion dans les structures tubulaires composites ont trouvé leur chemin dans les travaux de (Natsuki T et al. 2003) sur la résistance à la flexion des tubes composites. Une comparaison à l'expérimental a également été réalisée par (Kochekserrai SB et al. 2004) qui se termine par un bon accord entre l'analyse expérimentale et l'analyse par éléments finis sur une structure tubulaire composite soumise à un chargement combiné. L'étude de ces structures composites tubulaires par effet thermique a également suscité l'intérêt d'autres chercheurs (Shao et al. 2005) qui ont évalué les contraintes thermiques ainsi que celles de (Kandil, A. et al. 1995) par le modèle numérique.

L'objet du présent travail utilisant le critère de Hashin est de prédire les dommages sous la pression interne et la température de structures tubulaires composites causés par un moment de flexion et par la présence d'un défaut de qualité et d'emplacement en tant que paramètre de dangerosité.

2 Critère de Hashin et paramètre d'entrée

Le critère de Hashin est implémenté dans le code de calcul standard Abaqus. Les données d'entrée sont les suivantes : résistances longitudinales à la traction et à la compression, résistances transversales à la traction et à la compression et résistances au cisaillement longitudinal et transversal. Dans le critère de Hashin, le dommage est présenté sous les formes suivantes :

$$1. \text{ Rupture de la fibre en traction pour } \sigma_{11} \geq 0 \left(\frac{\sigma_{11}}{X_T} \right)^2 + \frac{\sigma_{12}^2 + \sigma_{13}^2}{S_{12}^2} = \begin{cases} \geq 1 & \text{rupture} \\ < 1 & \text{pas de rupture} \end{cases} \quad (1)$$

$$2. \text{ Rupture de la fibre en compression pour } \sigma_{11} < 0 \left(\frac{\sigma_{11}}{X_C} \right)^2 = \begin{cases} \geq 1 & \text{rupture} \\ < 1 & \text{pas de rupture} \end{cases} \quad (2)$$

$$3. \text{ Matrice de rupture traction } \sigma_{22} + \sigma_{33} > 0 \frac{(\sigma_{22} + \sigma_{33})^2}{Y_T^2} + \frac{\sigma_{23}^2 - \sigma_{22}\sigma_{33}}{S_{23}^2} + \frac{\sigma_{12}^2 + \sigma_{13}^2}{S_{12}^2} = \begin{cases} \geq 1 & \text{rupture} \\ < 1 & \text{pas de rupture} \end{cases} \quad (3)$$

4. Matrice de rupture compression $\sigma_{22} + \sigma_{33} < 0$

$$\left[\left(\frac{Y_C}{2S_{23}} \right)^2 - 1 \right] \left(\frac{\sigma_{22} + \sigma_{33}}{Y_C} \right)^2 + \frac{(\sigma_{22} + \sigma_{33})^2}{4S_{23}^2} + \frac{\sigma_{23}^2 - \sigma_{22}\sigma_{33}}{S_{23}^2} + \frac{\sigma_{12}^2 + \sigma_{13}^2}{S_{12}^2} = \begin{cases} \geq 1 & \text{rupture} \\ < 1 & \text{pas de rupture} \end{cases} \quad (4)$$

$$5. \text{ Rupture Interlaminaire en traction } \sigma_{33} > 0 \left(\frac{\sigma_{33}}{Z_T} \right)^2 = \begin{cases} \geq 1 & \text{rupture} \\ < 1 & \text{pas de rupture} \end{cases} \quad (5)$$

$$6. \text{ Rupture Interlaminaire en compression } \sigma_{33} < 0 \left(\frac{\sigma_{33}}{Z_C} \right)^2 = \begin{cases} \geq 1 & \text{rupture} \\ < 1 & \text{pas de rupture} \end{cases} \quad (6)$$

Les simulations effectuées sont plus fiables grâce à l'utilisation d'éléments de coque car il n'y a pas d'interface entre les plis ni entre les fibres et la matrice. Les paramètres de calcul numérique ont été en accord avec la convergence de calcul, ce qui nous permet d'aller davantage vers l'évaluation de la qualité du défaut. Ces défauts sont difficilement corroborés par des calculs numériques utilisant d'autres critères. Les paramètres introduits dans le code de calcul ABAQUS sont :

** MATERIALS

*Material, name=Material-1

*Damage Initiation, criterion=HASHIN 2050. 1200. 62. 190. 81., 81.

*Damage Evolution, 45. 45., 0.6, 0.6

*Damage Stabilization 0.003, 0.003, 0.003, 0.003

*Elastic, CONSTANTS

170000. 9000., 9000. 0.34, 0.34, 0.34, 4800. 4800.4500.,

*Expansion,

0.1E-6, 0.1E-6, 0.1E-6

3 Description de la géométrie du modèle et des propriétés du matériau

Les géométries de la structure composite avec ces dimensions normalisées (Spyros A et al 2016) sont illustrées à la figure (1). L'élément coudé est raccordé à deux tuyaux droits de 1100 mm de long. Cette longueur est suffisante pour éviter toute interférence de contrainte dans la région des extrémités du coude. Il est supposé qu'aucune défaillance ne se produit au niveau du tuyau rectiligne, ce qui ne devrait servir que de moyen pour transférer uniformément les moments de flexion aux courbes. Numériquement, la charge de moment de flexion sur le coude a été obtenue en imposant une rotation autour de l'axe perpendiculaire au plan de courbure du coude.

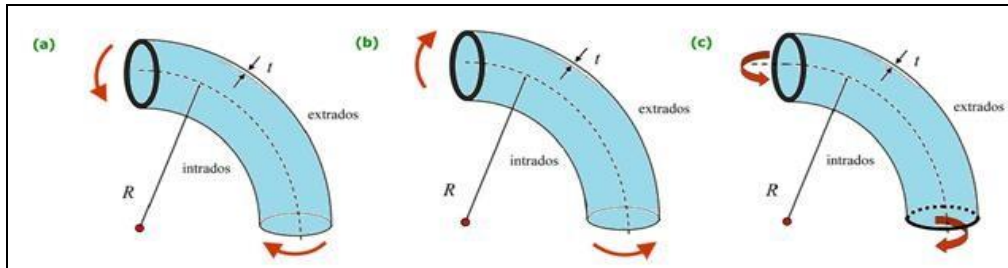


Fig. 1. Aperçu de la géométrie étudiée.

Les Structures tubulaires composites ayant les dimensions suivantes : un diamètre de 50 mm et une épaisseur de 2 mm. Les trois coudes ont le même rayon de courbure de 20 mm. Une seule forme de défaut elliptique avec une dimension est prise pour chaque cas. Ces coudes sont soumis uniformément à un mouvement de rotation imposé de 60° . Afin de ne causer que les dommages, le défaut est toujours à ces trois endroits dans l'extrados du coude. Pour toutes les situations étudiées, les conditions de chargement sont les suivantes : la fixation est toujours la même à la fin de la partie linéaire du tube. Les propriétés du carbone / époxy sont choisies parmi les travaux expérimentaux d'Auwal Muhammad (Auwal Muhammad et al 2014). Ces paramètres caractérisent l'architecture d'un composite avec une orientation de tissu croisé à 45° et une progression hélicoïdale le long de l'axe longitudinal du coude et des parties droites.

4 Analyse et résultats

Dans cette analyse, le maillage de la structure est affiné autour de la zone de défaut afin de mieux capturer la zone de dommage de manière précise. Le comportement linéaire du composite a été présenté en utilisant des éléments de coque S4R avec une épaisseur géométriquement nulle introduits dans les propriétés du composite. Le nombre d'éléments utilisés dans la structure dépend uniquement de l'angle du coude. Un nombre d'éléments de 8484 est pris pour le coude de 30° et 9150 éléments pour le coude de 60° et 11270 éléments pour le coude de 90° .

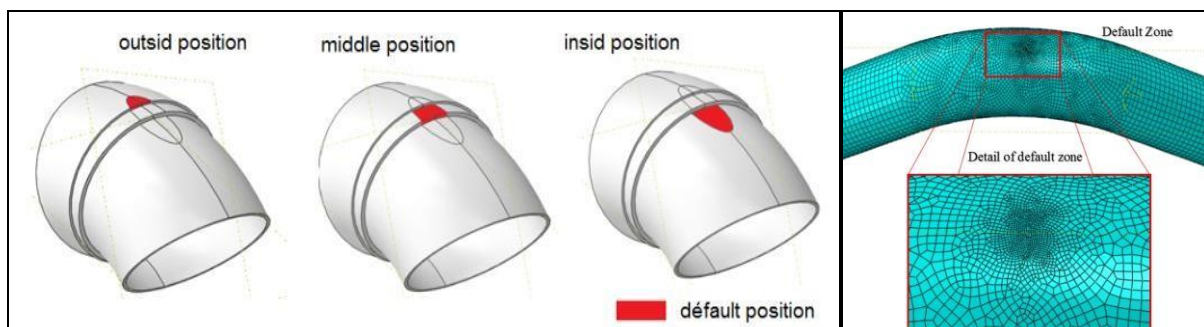


Fig. 2 (a) 3 positions du défaut, (b) Maillage du coude avec détails

4.1 Effet de la pression avec différents coudes angulaires et conditions de charge sur la défaillance de la structure

La réponse et l'évolution du système aux dommages thermomécaniques sous les paramètres d'évaluation sont présentées ci-après par les courbes de moments-rotation. Les figures (6a et 6b) montrent que la réponse à la flexion au moment de la flexion est initialement linéaire et identique dans tous les cas et prend des valeurs légèrement différentes juste avant le moment maximal. Cette différence est beaucoup plus causée par l'angle du coude que par la pression interne.

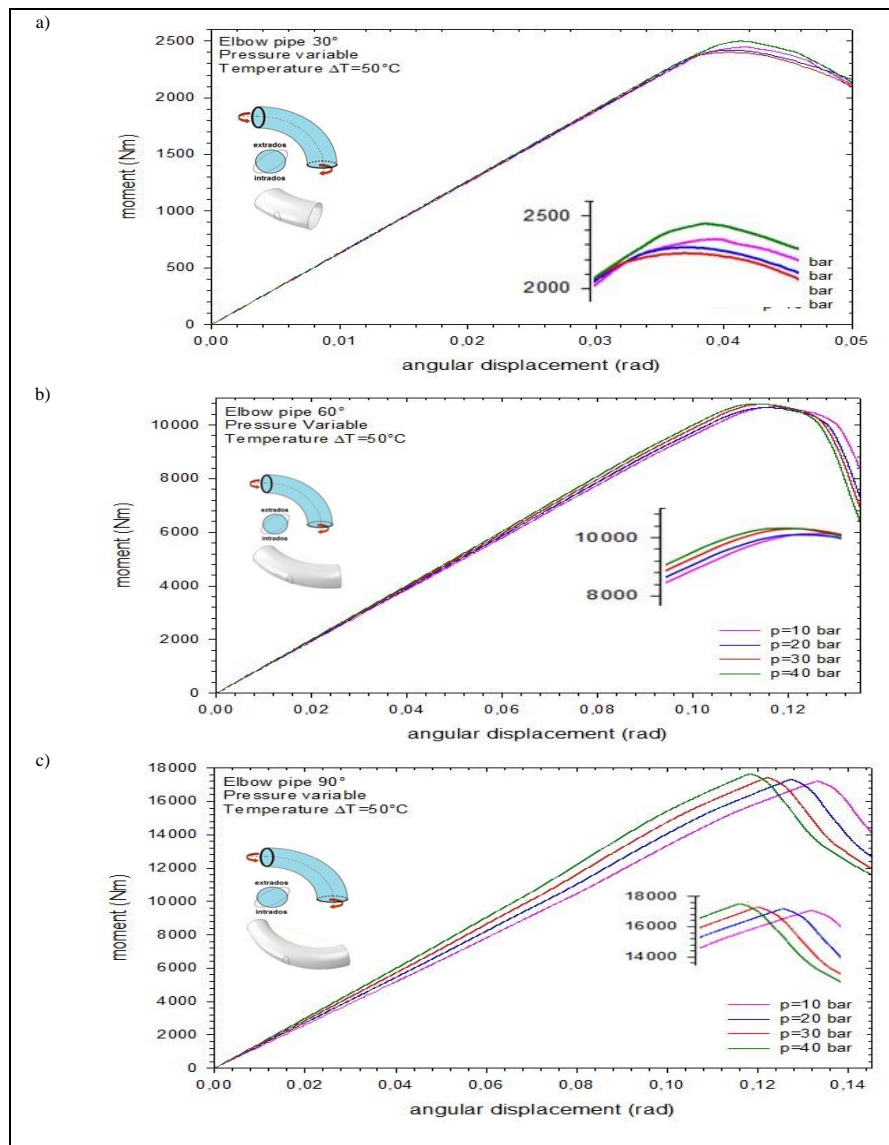


Fig.6. Courbe de rotation –moment, effet de rotation avec effet des valeurs de pression pour tous les types de section d'épaisseur et position médiane par défaut en a) 30 ° b) 60 ° c) Structure composite en coudes angulaires à 90 ° avec un moment de flexion hors du plan

Cette présentation d'endommagement de Hashin nous a montré la zone d'initiation des dommages en compression et en tension pour le cas des fibres et de la matrice. La valeur sans dimension 1.00 correspond au dommage total. Dans le critère de Hashin, le dommage est causé par une dégradation de la rigidité ou par la suppression complète des éléments satisfaisant la valeur 1.00 de la structure.

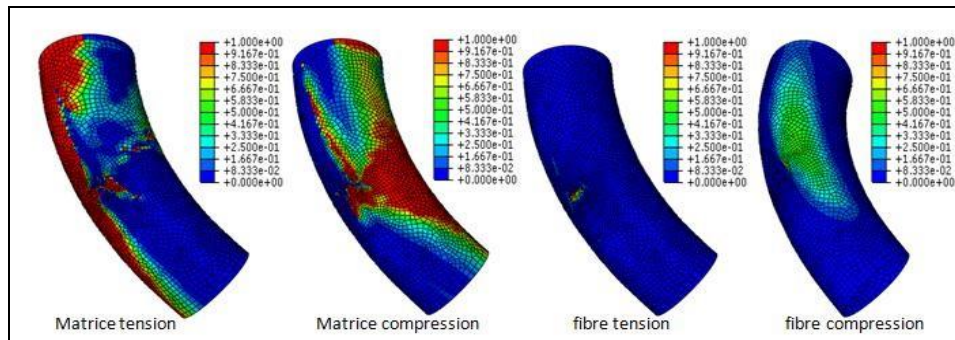


Fig.7. Représentation des dommages de Hashin dans la structure avec des coudes de 60° sous un moment de flexion hors du plan

Conclusion

Ce travail a bien présenté l'efficacité du critère d'endommagement dans des conditions de géométrie et de chargement complexes et dans des structures composites d'un modèle tubulaire relié par un coude au milieu. Les résultats obtenus nous ont permis d'évaluer et de comparer divers paramètres influençant les dommages de notre structure à étudier.

- La technique des critères de Hashin a été utilisée pour estimer la valeur du moment critique de la structure de pipeline composite sous comportement thermomécanique à l'aide d'éléments de coque.
- Les structures composites tubulaires sous pression peuvent supporter le même chargement avec différentes capacités de déformation.
- La présence d'un défaut aggrave le dommage par sa qualité et son emplacement et suit le mode de moment de flexion appliqué. Dans les structures tubulaires, la pression interne s'oppose à l'ovalisation lors du chargement en moment de flexion.
- Le mode de flexion subi par le coude conditionne les plans d'ovalisation et sa capacité supportée par les fibres dépend de l'angle du coude.
- L'approche par défaut des zones d'ovalisation de la tension ou de la compression localise et favorise rapidement les dommages au coude.
- La déformation dans la plupart des structures étudiées se produit fortement et rapidement par effet de la température à deux endroits, provoquée par l'aplatissement de la section transversale.
-

Références

- [1] Natsuki T., Takayamagi H., Tsuda H. and Kemmochi K., 'Prediction of Bending Strength for Filament-Wound Composite Pipes,' *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2003, 22, 695710.
- [2] Kochekserei S.B. and Robinson M., "Flexural Behaviour of a Polyvinyl Chloride- lined Glass Reinforced Plastic Composite multi-Mitred Pipe Bend Subjected to Combined Loads: A Comparative Finite Element Analysis and Experimental Case Study", *Journal of Strain Analysis*, 2004, 39, 2, 137-146.
- [3] Shao, Z. S., 2005, "Mechanical and Thermal Stresses of a Functionally Graded Circular Hollow Cylinder With Finite Length," *Int. J. Pressure Vessels Piping*, 82(3), pp. 155–163.
- [4] Kandil, A., El-Kady, A. A., and El-Kafrawy, A., 1995, "Transient Thermal Stress Analysis of Thick-Walled Cylinders," *Int. J. Mech. Sci.*, 37(7), pp. 721–732.